



**Marco Daniel
Almeida Oliveira**

**TECNOLOGIAS SEM FIOS NO APOIO A
PESSOAS COM LIMITAÇÕES FUNCIONAIS**



**Marco Daniel
Almeida Oliveira**

**TECNOLOGIAS SEM FIOS NO APOIO A
PESSOAS COM LIMITAÇÕES FUNCIONAIS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações (Mestrado Integrado), realizada sob a orientação científica do Dr. José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Dr. Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Dr. José Carlos Meireles Monteiro Metrôlho

Professor-Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Instituto
Politécnico de Castelo Branco

Prof. Dr. José Alberto Gouveia Fonseca

Professor Associado da Universidade de Aveiro (Orientador)

Se vi mais longe,
foi porque estava sobre ombros de gigantes
(Isaac Newton)

Agradecimentos

Agradeço a todos os Professores que ao partilharem o conhecimento ao longo destes anos permitiram que atingisse esta fase da minha formação académica.

A todos os colegas que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste projecto.

À Micro I/O e a todos os seus colaboradores pelos meios disponibilizados, sem os quais, não teria sido possível realizar este trabalho.

Ao Professor Doutor José Alberto Fonseca, um agradecimento especial pela sua orientação e conhecimentos transmitidos ao longo da minha formação académica.

Palavras-Chave

Domótica, Reabilitação, Comunicações sem fios, Limitações funcionais, interfaces humano-máquina (HMI), detecção de obstáculos, ultra-sons, *Bluetooth*, *ZigBee*

Resumo

Actualmente, a automação de habitações apresenta-se como uma área em forte expansão. A realização de algumas tarefas do quotidiano é simplificada com a utilização dos sistemas de domótica, aumentando desta forma o conforto e comodidade dos ocupantes. Os sistemas de domótica permitem que pessoas com limitações funcionais tenham maior autonomia e mobilidade dentro das suas habitações. A tecnologia utilizada nas habitações pode compensar várias das limitações que os ocupantes apresentem, permitindo-lhes atingir um nível de independência e liberdade, que de outra forma, não seria possível. Esta dissertação apresenta um sistema de domótica direccionado para pessoas com limitações funcionais. Numa primeira fase será apresentado um modelo de um sistema de detecção de obstáculos de apoio à navegação em cadeiras de rodas eléctricas, baseado na tecnologia de ultra-sons, e é feita uma abordagem às tecnologias sem fios para redes pessoais. Numa segunda fase é apresentado o sistema domótico *B-Live*, nomeadamente as interfaces suportadas, as funcionalidades, a arquitectura do sistema e o protocolo de comunicações. É também apresentado o desenvolvimento de uma nova funcionalidade, o dispensador de comida, bem como a interface telemóvel independente do computador.

Abstract

Nowadays, home automation is an application domain facing strong expansion. The execution of some of the everyday tasks is simplified with the use of home automation systems, thereby increasing the comfort and convenience of occupants. Home automation systems may allow people with functional limitations to have more autonomy and mobility within their homes. The technology used in the home can overcome many of the limitations of those impaired occupants, allowing them to reach a level of independence and freedom that would otherwise not be possible. This document presents a home automation system for people with functional limitations. In a first part, a model of an ultrasound based system to detect obstacles, support the navigation of powered wheelchairs, is discussed. Also, an overview of the technology for wireless personal networks is presented, as they will be the support for these and other systems. In a second part, the B-Live system, a domotic system for quadriplegic persons, will be presented, including the interfaces supported, the features, the architecture and the communications protocol. For this system we developed a new feature, the food dispenser, and we improved the mobile phone interface by making it independent of the computer. These topics will be detailed in the last part of this dissertation.

Índice de conteúdos

1 Introdução.....	1
1.1 .Descrição geral.....	1
1.2 .Objectivos.....	2
1.3 .Motivação.....	2
1.4 .Estrutura da dissertação.....	2
2 Detecção de obstáculos em cadeiras de rodas com sensores de ultra-sons.....	1
2.1 .Introdução e objectivos.....	1
2.2 .Medição de distâncias com ultra-sons em cadeiras adaptadas.....	2
2.2.1 Estado da arte.....	2
2.3 .Tecnologias e aplicações de sensores de ultra-sons.....	3
2.3.1 Modo de funcionamento dos sensores de ultra-sons.....	3
2.3.2 Aplicação dos ultra-sons.....	5
2.3.3 Tipos de sensores de ultra-sons.....	7
2.3.4 Medição de distâncias utilizando ultra-sons.....	8
2.3.5 Influência de diversos factores no desempenho dos ultra-sons.....	10
2.4 .Soluções e estudos	12
2.4.1 O sensor de ultra-sons SRF05.....	12
2.4.2 Modelização dos sensores para aplicação em cadeiras de rodas eléctricas.....	16
2.5 .Conclusão	23
3 Utilização de comunicações sem fios em assistive technologies.....	1
3.1 .Introdução.....	1
3.2 .Bluetooth - IEEE 802.15.1.....	2
3.2.1 Topologia da rede.....	2
3.2.2 Arquitectura.....	3
3.3 .Wi-Fi.....	4
3.3.1 Topologia de rede.....	4
3.3.2 Arquitectura.....	5
3.4 .UWB - IEEE 802.15.3.....	7
3.5 .ZigBee - IEEE 802.15.4.....	8
3.5.1 Arquitectura Protocolar.....	9
3.6 .Comparação entre as diversas tecnologias analisadas.....	16
3.7 .Conclusão.....	17
4 Sistema de domótica, B-LIVE.....	1
4.1 .Introdução.....	1
4.2 .Descrição geral.....	2
4.3 .Interfaces	2
4.3.1 Computador.....	3
4.3.2 Telemóvel.....	3
4.3.3 IntegraSwitch (interruptor de boca com sopro e sucção) e IntegraMouse (rato de boca).....	3
4.3.4 Interface feita por medida.....	4
4.3.5 Reconhecimento de fala.....	4
4.3.6 Interruptores convencionais.....	4
4.4 .Funcionalidades.....	4
4.4.1 Iluminação.....	5
4.4.2 Acessos.....	5
4.4.3 Higiene.....	5
4.4.4 Controlo de Potência.....	5
4.5 .Arquitectura do sistema.....	6
4.5.1 Arquitectura dos módulos.....	6
4.6 .Protocolo de comunicações.....	7
4.6.1 Estrutura de dados.....	7
4.6.2 Estrutura de mensagens.....	8
4.6.3 Tipos de mensagens.....	9
4.6.4 Comandos	10

4.7 .Conclusão.....	10
5 Contribuições para a evolução do B-Live.....	1
5.1 .Introdução.....	1
5.2 .Simplificação da Interface por Telemóvel.....	2
5.2.1 <i>Arquitectura anterior.....</i>	2
5.2.2 <i>Arquitectura desenvolvida.....</i>	2
5.2.3 <i>Princípio de operação.....</i>	3
5.3 .Desenvolvimento de um sistema de apoio à alimentação de pacientes.....	4
5.3.1 <i>Descrição geral.....</i>	4
5.3.2 <i>Método de funcionamento.....</i>	5
5.3.3 <i>Seleção dos produtos.....</i>	6
5.3.4 <i>Arquitectura do sistema.....</i>	6
5.4 .Ensaio e avaliação de desempenho.....	7
5.4.1 <i>Ensaio à comunicação entre : Telemóvel – módulo KC-121.....</i>	7
5.4.2 <i>Ensaio e avaliação de desempenho do dispensador de comida.....</i>	8
5.5 .Conclusão.....	9
6 Soluções para a interface e para o dispensador.....	1
6.1 .Introdução.....	1
6.2 .Soluções comerciais para módulo Bluetooth.....	1
6.2.1 <i>F2M Bluetooth.....</i>	1
6.2.2 <i>Promi-ESD™ Class 1 OEM Bluetooth Module.....</i>	2
6.2.3 <i>Módulo Bluetooth KC-121.....</i>	2
6.2.4 <i>HAC-LEN.....</i>	3
6.2.5 <i>Análise das várias soluções analisadas.....</i>	3
6.2.6 <i>Custos de desenvolvimento do módulo KC-121.....</i>	3
6.3 .Módulo Bluetooth KC-121.....	4
6.3.1 <i>Modos de operação.....</i>	6
6.4 .Características do módulo Bluetooth.....	11
6.5 .Soluções para controlo dos motores DC.....	13
6.5.1 <i>Dual H-Bridge Motor Drive (LYNXMOTION).....</i>	15
6.5.2 <i>Dual H-Bridge Module(ROGUE ROBOTICS).....</i>	15
6.5.3 <i>L298 Motor Driver Dual H-Bridge Electronic Kit.....</i>	16
6.5.4 <i>Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E01.....</i>	16
6.5.5 <i>Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E02.....</i>	17
6.5.6 <i>Análise das soluções apresentadas.....</i>	17
6.6 .Mecanismo de abertura/ fecho do dispensador de comida.....	18
6.7 .Descrição do firmware do dispensador de comida.....	18
6.7.1 <i>Função FoodDispenser.....</i>	19
6.8 .Conclusão.....	20
7 Conclusões e trabalhos futuros.....	1

Índice de figuras

Figura 2.1: Adaptação de sistemas de sensores em cadeiras de rodas adaptadas.....	2
Figura 2.2: Sistema de sensores e controlo.....	3
Figura 2.3: Área de detecção.....	4
Figura 2.4: Onda transmitida e eco.....	4
Figura 2.5: Método de detecção directa.....	5
Figura 2.6: Método de detecção por interrupção de feixe.....	5
Figura 2.7: Sensor de dobra.....	6
Figura 2.8: Sensor de enrolamento.....	6
Figura 2.9: Sensor de posição.....	6
Figura 2.10: Sensor de altura.....	6
Figura 2.11: Sensor de colisão.....	7
Figura 2.12: Sensor de nível.....	7
Figura 2.13: Sensores de ultra-sons piezoeléctricos	8
Figura 2.14: Ilustração do método de medição.....	9
Figura 2.15: Arquitectura de um emissor de ultra-sons.....	9
Figura 2.16: Arquitectura de um receptor de ultra-sons.....	10
Figura 2.17: Relação entre temperatura, pressão do ar e a velocidade do som.....	10
Figura 2.18: Divisão em faixas de frequência das ondas mecânicas.....	11
Figura 2.19: Esquema do cone de detecção.....	12
Figura 2.20: Interface do módulo de ultra-sons.....	12
Figura 2.21: Esquema de medição de distâncias.....	13
Figura 2.22: Diagrama temporal do SRF05.....	14
Figura 2.23: Diagrama de ganho de sinal do SRF05.....	14
Figura 2.24: Esquema de testes ao SRF05.....	15
Figura 2.25: Esquema de utilização dos sensores na cadeira.....	17
Figura 2.26: Zonas de actuação do detector de obstáculos.....	19
Figura 2.27: Ajuste dos limites de detecção.....	21
Figura 3.1: Topologia da rede Bluetooth [11].....	3
Figura 3.2: Pilha protocolar Bluetooth [13].....	3
Figura 3.3: Perfis Bluetooth [14].....	4
Figura 3.4: Topologias de rede suportadas pelo protocolo IEEE 802.11 [14].....	5
Figura 3.5: Arquitectura da pilha protocolar IEEE 802.11 e correspondência com o modelo OSI.....	6
Figura 3.6: Componentes do protocolo IEEE 802.11.....	6
Figura 3.7: Potência de transmissão para UWB.....	8
Figura 3.8: Plataforma da Aliança WiMedia.....	8
Figura 3.9: Pilha protocolar ZigBee.....	9
Figura 3.10: Estrutura de uma trama PPDU.....	10
Figura 3.11: Estrutura Superframe.....	11
Figura 3.12: Comunicação para o Coordinator em modo beacon.....	12
Figura 3.13: Comunicação do Coordinator para outro dispositivo.....	12
Figura 3.14: Formato de trama da camada MAC.....	13
Figura 3.15: Topologia Star.....	13
Figura 3.16: Topologia Cluster Tree.....	14
Figura 3.17: Topologia Mesh.....	14
Figura 3.18: Parâmetros máximos do número de nós em ZigBee.....	15
Figura 3.19: Representação gráfica da Taxa de Transferência de Dados vs Alcance.....	17
Figura 4.1: Enquadramento do B-Live[26].....	1
Figura 4.2: B-Live, sistema modular[26].....	2
Figura 4.3: Interfaces Humano-Máquina[26].....	2
Figura 4.4: Computador.....	3
Figura 4.5: Telemóvel.....	3
Figura 4.6: IntegraMouse e IntegraSwitch.....	3

Figura 4.7: Interface cadeira.....	4
Figura 4.8: Interruptor convencional.....	4
Figura 4.9: Iluminação[27].....	5
Figura 4.10: Acessos[27].....	5
Figura 4.11: Higiene[27].....	5
Figura 4.12: Controlo de Potência[27].....	5
Figura 4.13: Arquitectura do sistema[28].....	6
Figura 4.14: Interação do sistema B-Live com o exterior[28].....	6
Figura 4.15: Arquitectura dos módulos B-Live.....	7
Figura 4.16: Arquitectura interna dos módulos.....	7
Figura 4.17: Estrutura de dados B-Live.....	8
Figura 4.18: Estrutura das mensagens FIFO.....	8
Figura 4.19: Estrutura das tramas CAN.....	8
Figura 4.20: Estrutura das mensagens RS232.....	9
Figura 4.21: Disposição dos dados de configuração em memória.....	10
Figura 5.1: Arquitectura inicial da interface telemóvel.....	2
Figura 5.2: Arquitectura desenvolvida para a interface telemóvel.....	3
Figura 5.3: Menu B-Live no telemóvel.....	3
Figura 5.4: Sub-menu Dispensador de produtos.....	4
Figura 5.5: Dispensador de comida.....	5
Figura 5.6: Led's de apoio à selecção dos produtos.....	6
Figura 5.7: Arquitectura do módulo dispensador de comida.....	6
Figura 5.8: Esquema de ligação do ensaio realizado.....	7
Figura 5.9: Dispensador com rampa.....	8
Figura 6.1: Módulo Bluetooth F2M.....	1
Figura 6.2: Módulo Bluetooth Promi-ESD™ Class 1.....	2
Figura 6.3: Módulo Bluetooth KC-121.....	2
Figura 6.4: Módulo Bluetooth HAC-LEN	3
Figura 6.5: Módulo Bluetooth KC-121.....	4
Figura 6.6: Módulo Bluetooth KC-21.....	4
Figura 6.7: Esquema eléctrico da interface RS232.....	5
Figura 6.8: Esquema de ligação para configuração dos módulos KC-121.....	6
Figura 6.9: Dipswitchs do módulo KC-121.....	7
Figura 6.10: Ligação RS232 do módulo Bluetooth KC-121 ao PC.....	7
Figura 6.11: Esquema de ligação da USART.....	8
Figura 6.12: Resposta do módulo KC-121 ao iniciar.....	8
Figura 6.13: Script com o comando Bond.....	9
Figura 6.14: Utilização de um script.....	9
Figura 6.15: Placa de Controlo[28].....	13
Figura 6.16: Placa de MOSFETs [28].....	14
Figura 6.17: Dual H-Bridge Motor Driver (LYNXMOTION).....	15
Figura 6.18: Dual H-Bridge Module (ROGUE ROBOTICS).....	15
Figura 6.19: L298 Motor Driver Dual H-Bridge Electronic Kit.....	16
Figura 6.20: Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E01.....	16
Figura 6.21: Robot 2A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E02.....	17
Figura 6.22: Sistema parafuso sem-fim.....	18
Figura 6.23: Motor DC com parafuso sem-fim.....	18
Figura 6.24: Arquitectura do firmware do dispensador.....	19

Índice de tabelas

<i>Tabela 2.1: Teste ao alcance do SRF05.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2.2: Teste ao alcance do SRF05 num ângulo de 20°.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 2.3: Testes à cadeira de rodas.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2.4: Distância percorrida pela cadeira entre leituras consecutivas do mesmo sensor.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 3.1: Funcionalidades da camada NWK para diferentes dispositivos ZigBee.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 3.2: Perfis em desenvolvimento.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 3.3: Comparação entre as diferentes tecnologias.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4.1: Comandos e seu significado.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 6.1: Lista de comandos AT utilizados.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 6.2: Alcance do Bluetooth em função da potência.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 6.3: Versões e taxas de transmissão.....</i>	<i>12</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 . Descrição geral

A Domótica aplicada nas habitações é umas das áreas que actualmente se encontra em elevada expansão, devido às suas características e potencialidades, tanto ao nível de comodidade/conforto como a nível de poupança energética.

A presente dissertação aborda o estudo e desenvolvimento de novas funcionalidades para o sistema *B-Live*. Trata-se de um sistema domótico de apoio à reabilitação (DoRe) em desenvolvimento no Departamento de Inovação da Micro I/O, que visa facilitar o dia a dia de pessoas idosas ou com graves limitações funcionais (paraplégicos e tetraplégicos), ultrapassando as graves lacunas apresentadas pelos sistemas domóticos já existentes.

Os potenciais utilizadores deste sistema ocupam na sociedade um lugar que merece toda a sensibilidade e atenção, sendo necessário, e de certa forma inevitável, que quem projecta este tipo de sistemas elabore potenciais cenários de utilização, pois as dificuldades com que estas pessoas se deparam no seu dia a dia são inúmeras e, para a restante sociedade, muitas vezes passam despercebidas.

Este trabalho foi realizado com a colaboração da Micro I/O - Serviços de Electrónica Lda, através do seu Departamento de Inovação, com forte ligação à Universidade de Aveiro.

1.2. Objectivos

O objectivo principal deste projecto é o desenvolvimento de novas funcionalidades e novas interfaces para o sistema domótico *B-Live*.

O projecto compreende a modelização de um sistema de detecção de obstáculos, por forma a ser integrado em cadeiras de rodas eléctricas, o desenvolvimento de um módulo dispensador de comida, e a simplificação da interface por telemóvel.

1.3. Motivação

Este projecto engloba diversas tecnologias que, actualmente, se encontram em larga expansão. Desde logo a tecnologia de ultra-sons para detecção de obstáculos, bem como a tecnologia *Bluetooth* são as preferidas no desenvolvimento deste projecto.

O sistema de detecção de obstáculos permitirá que um utilizador de cadeira de rodas navegue em segurança. Distacções do utilizador, ou incapacidade de manipular adequadamente os movimentos da cadeira podem levar a choques com obstáculos e originar graves quedas, que serão evitados com este sistema.

O módulo dispensador de comida permitirá a pessoas com graves limitações funcionais obterem de forma autónoma alimento, dispensando assim a constante permanência de um cuidador junto delas. Com esta funcionalidade disponibilizada pelo sistema *B-Live*, estas pessoas podem, através de uma das interfaces, obter alimentos. Para tal apenas têm de se dirigir ao dispensador e seleccionar o produto que pretendem.

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada por capítulos de acordo com a seguinte descrição:

No capítulo 2 é feita uma análise à tecnologia de ultra-sons como método de detecção de obstáculos. É também apresentado um modelo para um sistema de detecção de obstáculo a implementar em cadeiras de rodas baseado nesta tecnologia.

No capítulo 3 é feito um levantamento das tecnologias de redes de área pessoal sem fios. Serão introduzidas as tecnologias *Bluetooth*, *Wifi*, *UWB* e *ZigBee*.

No capítulo 4 é apresentado o sistema de domótica *B-Live*, desenvolvido no âmbito do projecto DoRe. Trata-se de um sistema de domótica de apoio a pessoas idosas ou com graves limitações funcionais. Será feita uma breve descrição das funcionalidades do sistema, das interfaces disponibilizadas, da arquitectura e do protocolo de comunicações utilizado no *B-Live*.

No capítulo 5 são apresentadas as contribuições para a evolução do sistema *B-Live*. É apresentada a arquitectura da interface por telemóvel desenvolvida, bem como o princípio de operação e arquitectura do dispensador de comida. São também apresentados os resultados dos ensaios realizados à comunicação entre o telemóvel e o módulo *Bluetooth* KC-121, bem como os resultados dos ensaios realizados ao dispensador de comida.

No capítulo 6 são apresentadas as soluções para a interface por telemóvel e para o dispensador de comida. O *Bluetooth* é a tecnologia de comunicações que suporta esta interface. São apresentadas as soluções analisadas para o controlo dos motores DC do dispensador de comida. É ainda descrito o mecanismo de abertura/fecho da porta do dispensador de comida.

No capítulo 8 conclui esta dissertação e apresenta alguns pontos a desenvolver em trabalho futuro.

Capítulo 2

Detecção de obstáculos em cadeiras de rodas com sensores de ultra-sons

2.1 . Introdução e objectivos

Um dos principais problemas na utilização de cadeira de rodas por pessoas com graves limitações funcionais são os constantes obstáculos que os rodeiam. Muitos casos de paralisia impedem que um tetra ou paraplégico consiga controlar de forma segura a navegação em cadeira de rodas. Nesse sentido, procedeu-se neste capítulo ao estudo e desenvolvimento de um sistema de detecção de obstáculos, com vista a apoiar a navegação em cadeiras de rodas adaptadas. Esta cadeira de rodas adaptada está actualmente em fase de desenvolvimento, num projecto de doutoramento no Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Os sensores de ultra-sons surgem neste projecto com o objectivo de detectarem obstáculos que se encontrem próximos das cadeiras de rodas, isto é, de criarem um perímetro de segurança. Este sistema de detecção pretende proporcionar o apoio à navegação de cadeiras de rodas, permitindo aumentar o nível de segurança do utilizador durante a navegação. A escolha para a detecção de obstáculos recaiu sobre a tecnologia de ultra-sons em detrimento de outras, pois esta tecnologia apresenta como grande vantagem o baixo consumo de energia. Esta é uma característica importante pois, no projecto em questão, a alimentação dos sistemas é feita por baterias.

Assim, neste capítulo é efectuado um estudo da tecnologia de ultra-sons, e em particular do sensor de ultra-sons SRF05, utilizado neste projecto para detecção de obstáculos.

2.2 . Medição de distâncias com ultra-sons em cadeiras adaptadas

A utilização de sensores de ultra-sons em cadeiras de rodas para medição de distâncias permite obter informação relativa à posição de obstáculos, possibilitando assim que o sistema de controlo actue evitando esses obstáculos.

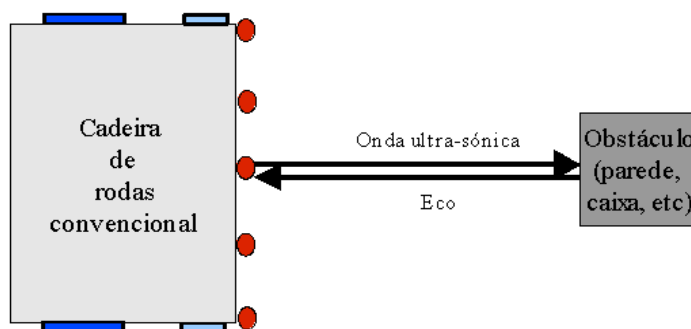


Figura 2.1: Adaptação de sistemas de sensores em cadeiras de rodas adaptadas

O software de simulação para este tipo de aplicações é de elevada utilidade, pois permite validar modelos desenvolvidos teoricamente e ajustar determinados parâmetros, permitindo aproximar o funcionamento dos modelos a ambientes reais.

2.2.1 Estado da arte

Os sensores de ultra-sons são amplamente utilizados em vários sistemas de apoio à navegação autónoma de *robôs*, devido às suas propriedades de baixo custo, simplicidade, fácil instalação e baixo consumo de energia. Além disso, a informação proveniente dos sensores de ultra-sons pode ser facilmente processada em tempo real desde que o processador tenha capacidade para tal.

Alguns exemplos onde estes sistemas são utilizados, *INtelligent ROLLstuhl* (INRO) [1] e *Assistive Wheelchair Navigation System* (NavChair) [2] entre muitos outros, podem ser encontrados na literatura. Têm sido objecto de pesquisa com múltiplos modos de operação definidos, adaptando o sistema de navegação a cada situação.

Estes sistemas diferem entre si pelas características e funcionalidades suportadas.

INtelligent Rollstuhl (INRO)

Neste projecto INRO [1] (*INtelligent ROLLstuhl* (cadeiras de rodas inteligentes)), o objectivo principal era a implementação de um sistema de controlo baseado em sensores, para apoiar os utilizadores de cadeiras de rodas eléctricas na navegação e detecção de obstáculos.

Neste sistema INRO foi implementado um sistema de sensores e de controlo para apoio à navegação em cadeira de rodas, tendo sido desenvolvidas várias funcionalidades:

- Sistema de detecção de obstáculos fiável: incluindo também obstáculos côncavos, descer escadas
- Sistema de condução de várias cadeiras em comboio actuando apenas na primeira cadeira da fila
- Repetição autónoma de rotas ensinadas em ambientes *indoor* e *outdoor*
- Assistência para um regresso seguro a casa, na eventualidade do navegador se desorientar

- Transmitir informação a uma equipa de enfermeiros, em caso de emergência, acerca da localização do veículo e principais características.

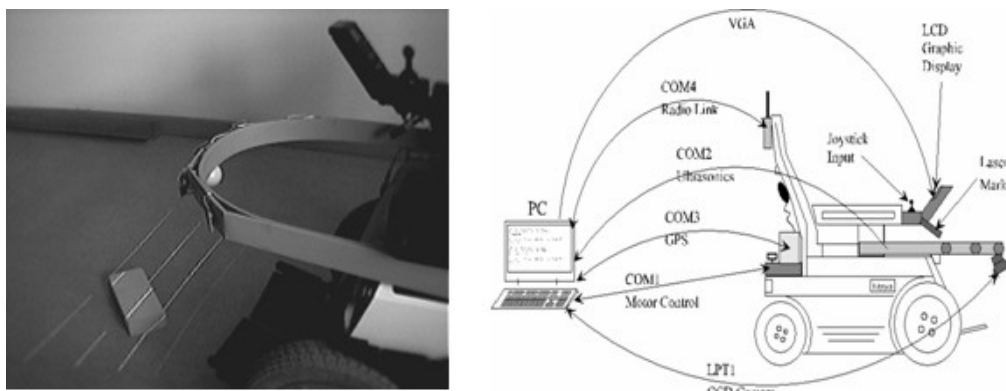


Figura 2.2: Sistema de sensores e controlo

Este sistema tem como principais características:

- Velocidade adaptável dentro de 4 velocidade variando: 2,5 km/he, 5 Km/he, 7,5 Km/he, 10 km/he,
- Direcção do servo, através da rodas com um raio mínimo de viragem de 0,8 m,
- Luzes de aviso, que são activadas durante a viragem,
- Comunicação interna por ligação série RS 232.

Assistive Wheelchair Navigation System (NavChair)

O projecto *NavChair* [2] foi desenvolvido com o objectivo de reduzir as exigências cognitivas e físicas dos utilizadores durante a navegação em cadeiras de rodas. Este sistema é baseado num sistema comercial de cadeira de rodas, tendo sido adicionado um sistema informático baseado em DOS, sensores de ultra-sons, e um módulo de interface entre o *joystick* e o módulo de potência da cadeira de rodas. O *NavChair* disponibiliza três modos de operação:

- Detecção geral de obstáculos
- Passagem de portas
- Seguimento automático da parede.

2.3 . Tecnologias e aplicações de sensores de ultra-sons

As comunicações sem fios, como é o caso da tecnologia de ultra-sons, têm já um passado sólido no que diz respeito às suas aplicações, nomeadamente na indústria. Actualmente, por diversas razões (desempenho, custo, etc) conhecem-se aplicações em variadas áreas, desde a indústria automóvel, à robótica entre muitas outras.

Nesta secção será feita uma abordagem à tecnologias dos ultra-sons e suas aplicações.

2.3.1 Modo de funcionamento dos sensores de ultra-sons

Os sensores de ultra-sons são projectados para um desempenho robusto em ambientes problemáticos, onde se encontrem diversos objectos com diversas formas reflectivas, e onde a precisão na detecção é essencial. Apresentam características que lhes permitem operar em ambientes onde os dispositivos tradicionais de detecção não têm capacidade de operar.

● Gama de detecção

A gama de detecção de um sensor de ultra-sons é designada por gama activa, e quando um objecto se encontrar dentro desta gama é detectado pelo sensor [3].

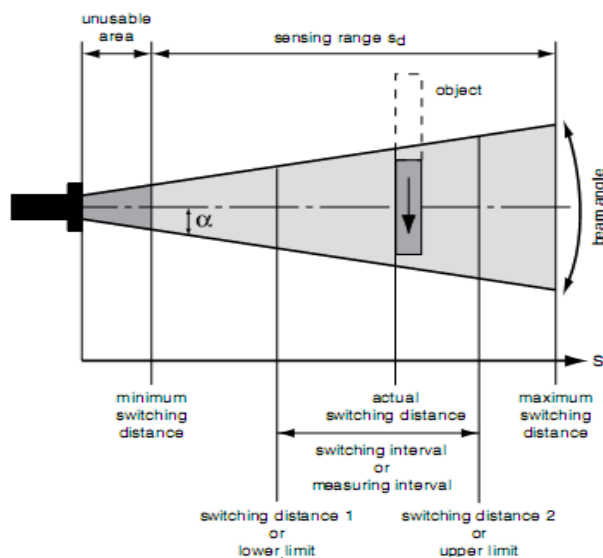


Figura 2.3: Área de detecção

Como ilustrado na Figura 2.3, na gama de detecção dos sensores de ultra-sons, existe uma área “morta” onde o sensor não consegue detectar um obstáculo.

O transdutor transmite uma série de ondas ultra-sónicas e converte as ondas reflectidas em tensão. O controlador determina a relação entre o tempo de eco e a velocidade do som. A duração da onda transmitida Δt , e o tempo de decaimento do transdutor resultam na área “morta” do sensor.

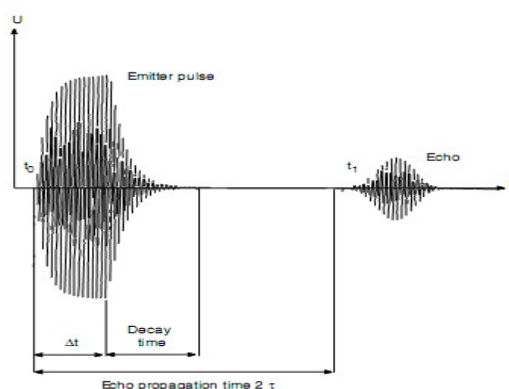


Figura 2.4: Onda transmitida e eco

● Princípio de operação

Os sensores ultra-sónicos determinam o tempo que leva para o som viajar dos sensores até ao objecto e retornar ao sensor (detecção directa), ou verificam se o sinal transmitido é recebido por um receptor separado (detecção por interrupção de feixe) [3].

- **Deteção directa**

O emissor e o receptor são instalados no mesmo suporte. As ondas ultra-sónicas são reflectidas pelo objecto chegando assim ao receptor.

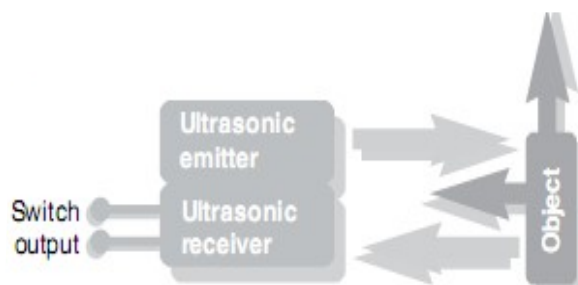


Figura 2.5: Método de deteção directa

- **Deteção por interrupção de feixe**

O emissor e o receptor estão montados em estruturas separadas.

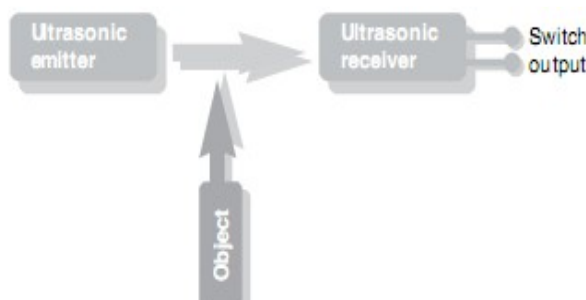


Figura 2.6: Método de deteção por interrupção de feixe

Quando um objecto interrompe a onda ultra-sónica, a saída do interruptor fica activa.

2.3.2 Aplicação dos ultra-sons

Nos últimos anos, a utilização de ultra-sons na indústria tem aumentado de forma exponencial, passando pelos processos mais simples até processos de elevado grau de complexidade. Na indústria os ultra-sons têm aplicações, desde logo, como uma ferramenta de selecção e como instrumento de gestão. Esta tecnologia desempenha, actualmente, um papel preponderante na medicina e em aplicações militares.

As aplicações com ultra-sons encontram-se um pouco por toda a indústria, como por exemplo [4]:

- **Sensores de dobra** – utilizados maioritariamente pelas indústrias do Papel e do Plástico, para monitorizar a inclinação dos diferentes materiais de um determinado processo.

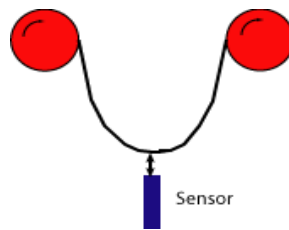


Figura 2.7: Sensor de dobra

- **Sensores de enrolamento** – utilizados em grande quantidade na indústria do Papel, para detectar as alterações no diâmetro dos cilindros, enquanto são enrolados ou desenrolados.

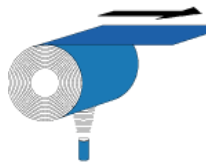


Figura 2.8: Sensor de enrolamento

- **Sensores de posição** - usados para posicionar exactamente objectos. Ligados em conjunto com um sistema de controlo, os sensores fornecem os dados para um ajuste de posição dos objectos. Este tipo de sensores é utilizado em grande número nas indústrias *Automotive*, *Robotics* e *Impressão*.

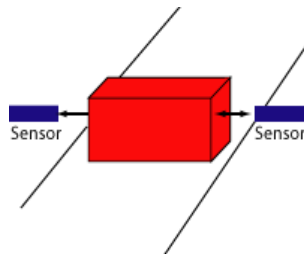


Figura 2.9: Sensor de posição

- **Sensores de altura** – este tipo de sensores são utilizados para medir a altura dos objectos que se movem e passam pelo sensor. As medidas são afectadas pelas formas da superfície e revestimentos dos objectos medidos, apesar da elevada precisão e repetibilidade dos sensores de ultra-sons. Aparecem em elevado número na Metalúrgica.

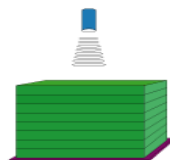


Figura 2.10: Sensor de altura

- **Sensor de colisão** – utilizados na indústria para prevenir colisões. Os sensores são colocados nos equipamentos móveis, de modo a prevenir colisões. Os sensores são

constantemente accionados fornecendo dados de proximidade a um controlador. São utilizados maioritariamente na indústria *Automotive* e *Automatização*.

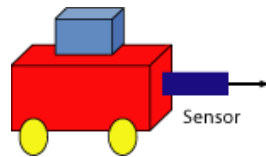


Figura 2.11: Sensor de colisão

- **Sensores de nível** - encontram-se em muitas aplicações onde a detecção do nível de um líquido num recipiente é necessária. Fortemente utilizados pela indústria de Tratamento e Manutenção de Águas, e Produtos Químicos.



Figura 2.12: Sensor de nível

Um som a uma frequência superior àquela que o ouvido do ser humano pode perceber, aproximadamente 20.000 Hz é um ultra-som. Determinados animais, como o morcego ou o cão, têm um limite de percepção sonora superior ao do ouvido humano e podem portanto, ouvir ultras-sons.

A utilização de ultra-sons na medição de distâncias é um método de medição de *non-contact*. As ondas ultra-sónicas são ondas acústicas mecânicas, com frequências maiores do que 20 kHz. A onda ultra-sónica interage com o objecto alvo e parte da energia da onda incidente é reflectida. Ao receber a onda reflectida e sabendo a diferença de tempos entre a onda enviada e a recebida é possível calcular a distância ao objecto. Se o objecto estiver em movimento, a frequência recebida difere devido ao efeito de *Doppler*.

2.3.3 Tipos de sensores de ultra-sons

Nesta secção são apresentados e analisados os tipos de sensores de ultra-sons, sensores piezoeléctricos e sensores electrostáticos.

Sensores piezoeléctricos

Os sensores piezoeléctricos, como o seu próprio nome indica, têm por princípio físico de funcionamento um efeito que se verifica em determinados materiais a que se dá o nome de efeito piezoeléctrico. O efeito piezoeléctrico consiste no aparecimento de uma polarização eléctrica (diferença de potencial) entre faces opostas de um dado material quando este é submetido a uma tensão mecânica entre essas mesmas faces.

A nível microscópico, a piezoelectricidade de um material está relacionada com a sua distribuição iónica, mais propriamente com o facto de, na sua composição, possuir moléculas com distribuição assimétrica da carga eléctrica. Assim, o efeito piezoeléctrico é predominante em

materiais de estrutura cristalina tais como o quartzo, o sal de *Rochelle*, alguns tipos de cerâmicas e polímeros.

A nível prático, este fenómeno possui um variado leque de aplicações tanto no domínio da sensorização como da actuação. No que se refere ao primeiro domínio, o efeito piezoelétrico é usado como base para diversos tipos de sensores entre os quais se destacam sensores de força, pressão, aceleração, humidade, e ultra-sons (tanto para o receptor como para o emissor).



Figura 2.13: Sensores de ultra-sons piezoelétricos

Sensores electrostáticos

Os sensores de ultra-sons electrostáticos funcionam de forma semelhante a um condensador eléctrico. Este tipo de sensores é habitualmente composto por um condensador de placas, com uma placa condutora fixa e uma superfície metálica livre, revestida por um material isolante, que separa as duas placas. Quando é aplicada uma diferença de potencial, a placa livre desloca-se de encontro à placa fixa (dependendo da forma como se aplica a tensão eléctrica). Quando é aplicada uma tensão eléctrica oscilante à placa fixa, a placa móvel vai oscilar, de acordo com a tensão do sinal a que está sujeita a placa fixa, criando desta forma ondas de pressão no ar, ou seja, funciona do mesmo modo que uma coluna de som comum. Quando recebemos um sinal de ultra-sons, o sensor electrostático funciona de forma análoga.

A variação da distância entre as placas, produzida pela onda recebida, vai fazer com que o valor da capacidade do condensador, criado pelas placas, também varie, sendo assim possível detectar a onda recebida.

2.3.4 Medição de distâncias utilizando ultra-sons

Nesta secção será efectuada uma análise ao método de medição de distâncias dos ultra-sons.

Para uma correcta utilização de ultra-sons no desenvolvimento de novas aplicações é fundamental compreender o seu funcionamento, bem como a interacção com o meio em que se encontram.

Um sensor de ultra-sons mede a distância entre um ponto de referência e os objectos no campo de actuação do sensor. Este tipo de sensores são usados na navegação dos robots e no desvio de obstáculos, onde a sua utilização consiste no estimar das distâncias para os objectos mais próximos [5].

Método de medição

Os sensores de ultra-sons utilizam o princípio do tempo de voo, ou a propagação das ondas no meio (normalmente ar), para calcular a distância entre o sensor e o objecto.

Os sistemas utilizam assim quer medidas do eco/reflexo do som do objecto (no caso em que o transmissor e o receptor estão no mesmo dispositivo), ou o tempo de voo da onda sonora a partir do transmissor ao receptor (no caso em que ou o transmissor ou o receptor são montados no objecto).

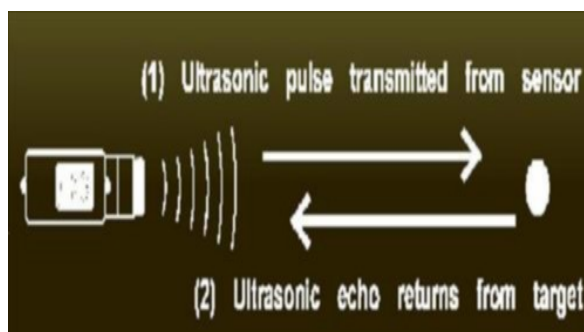


Figura 2.14: Ilustração do método de medição

Emissor de ultra-sons

O emissor de ultra-sons é composto por um circuito electrónico e um transdutor electromecânico. O emissor gera a onda ultra-sónica que depois é convertida de sinais eléctricos em sinais mecânicos, e de seguida enviada para o meio como ilustra a Figura 2.15.

A oscilação da superfície provoca uma variação da pressão do ar, de frequência igual à superfície em oscilação.

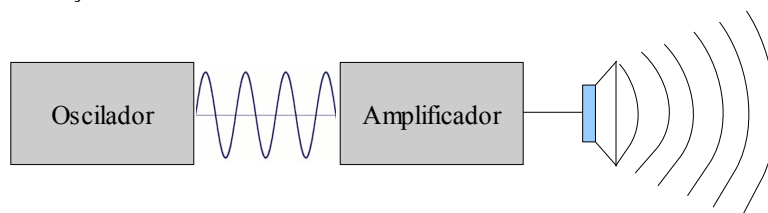


Figura 2.15: Arquitectura de um emissor de ultra-sons

Receptor de ultra-sons

O receptor de ultra-sons apresenta uma arquitectura em tudo semelhante ao emissor.

Possui também um transdutor e um circuito electrónico responsável por amplificar e tratar o sinal eléctrico, convertido pelo transdutor a partir da onda ultra-sónica recebida, como ilustrado na Figura 2.16.

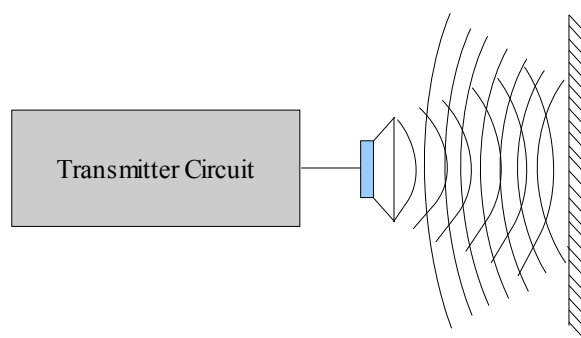


Figura 2.16: Arquitectura de um receptor de ultra-sons

Ao percorrerem o meio, as ondas ultra-sónicas são reflectidas por qualquer objecto que se encontre no seu ângulo de acção. Através do tempo de voo da onda ultra-sónica é possível determinar a distância do objecto em relação ao sensor.

2.3.5 Influência de diversos factores no desempenho dos ultra-sons

Nesta secção será efectuada uma breve discussão sobre os factores que podem influenciar o desempenho dos sensores de ultra-sons.

Os sensores de ultra-sons, tal como já referido anteriormente, baseiam-se na medição do tempo de voo das ondas ultra-sónicas para determinar distâncias.

Devido às propriedades físicas de propagação do som, ao alcance e à velocidade das ondas ultra-sónicas, as medidas são afectadas por diversos factores a ter em conta quando se projectam os sensores.

Factores ambientais

A humidade relativa do ar, temperatura e pressão barométrica são alguns dos factores ambientais de que depende a atenuação da potência da onda ultra-sónica.

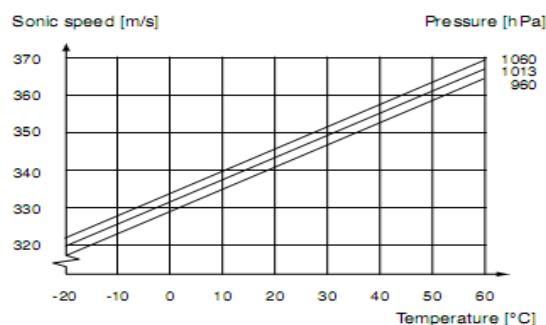


Figura 2.17: Relação entre temperatura, pressão do ar e a velocidade do som

A Figura 2.17 mostra a relação teórica entre a temperatura, a pressão do ar e a velocidade do som. Variações da temperatura do ar na área do objecto, afectam directamente a propagação da onda ultra-sónica e a consequente exactidão do sensor, tipicamente, uma mudança de $\pm 0,17\%$ na velocidade de propagação por grau *Celsius*. Por exemplo, uma variação de temperatura ambiente de 68°F para 104°F aumenta a velocidade da onda ultra-sónica aproximadamente $3,5\%$ [3], fazendo com que um objecto estacionário aparente estar mais próximo, com o aumento da temperatura.

Frequência, velocidade e comprimento de onda

O ar ou outro meio na trajetória de uma onda sonora torna-se alternadamente mais denso ou mais rarefeito. As variações na pressão fazem com que os tímpanos dos nossos ouvidos vibrem com a mesma frequência da onda, produzindo assim a sensação fisiológica do som. A maioria dos sons é produzida por objectos que vibram, e criam vibrações periódicas enviado assim para o meio sucessivas camadas de compressão e rarefação. A distância entre duas regiões de compressão (ou expansão) consecutivas é chamada de **comprimento de onda**.

Um ouvido normal é sensível a ondas sonoras com frequências entre aproximadamente 20Hz e 20KHz. Quando a frequência é inferior a 20 Hz as ondas são chamadas de infra-sons, e quando a frequência é superior a 20 KHz, são chamadas de ultra-sons, como mostra a Figura 2.18.

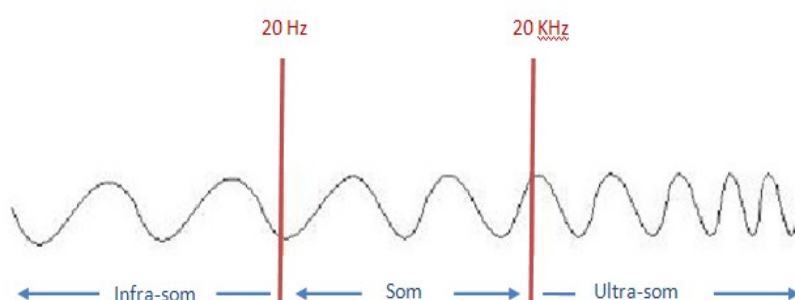


Figura 2.18: Divisão em faixas de frequência das ondas mecânicas

Frequência é o número de oscilações realizadas por unidade de tempo, e é expressa no Sistema Internacional de Medidas (SI) em Hertz (Hz).

A **velocidade das ondas** é uma característica do meio onde estas se propagam. Por exemplo, o som tem uma velocidade de aproximadamente 330 m/s no ar, 1500 m/s na água e 5900 m/s no aço [5]. A frequência (f), velocidade (v) e o comprimento de onda (λ) estão relacionados através da seguinte expressão:

$$V = \lambda f$$

Características do objecto

Na medição de distâncias, utiliza-se normalmente o princípio da transmissão de ondas, seguido da recepção do eco. O valor da distância que o sensor calcula é influenciado por diversos factores. Desde logo, a distância ao objecto, a geometria do objecto, a superfície, o tamanho, a composição, a orientação do objecto ou do sensor, são alguns desses factores.

Há objectos que, pelo tipo de material de que são compostos, são bons reflectores, enquanto outros apresentam-se como bons absorventes. Esta característica, na medição da distância do objecto ao sensor, conduz à obtenção de valores incorrectos, pois para um objecto estacionário iremos obter valores de distância variáveis mediante a composição do material [6].

O tamanho e a forma do objecto são características que influenciam a quantidade de onda que é reflectida, isto é, o eco recebido pelo receptor de ultra-sons. Para um objecto maior que o feixe ultra-sónico (ver Figura 2.19), as ondas incidentes no objecto serão quase todas reflectidas, e irão ser recebidas pelo receptor.

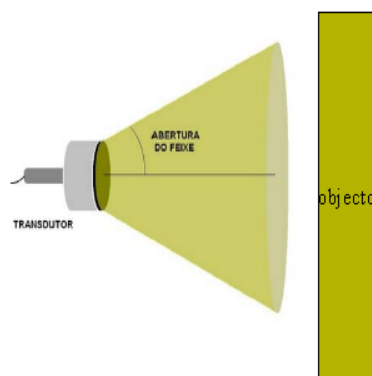


Figura 2.19: Esquema do cone de detecção

A forma determina o ângulo em que a onda ultra-sónica será reflectida.

Ruído externo

Os ruídos externos ao sistema que se apresentem suficientemente elevados, e com frequências às quais os sensores de ultra-sons são sensíveis, podem levar a que o receptor de ultra-sons seja indevidamente accionado conduzindo assim à obtenção de dados falsos.

2.4 . Soluções e estudos

Nesta secção será efectuado um estudo ao sensor de ultra-sons SRF05 por forma a avaliar as suas características, tendo para tal, sido efectuados vários testes.

2.4.1 O sensor de ultra-sons SRF05

O sensor SRF05 é uma evolução do SRF04 comercializado pela *Deviantech*, e surge no mercado por forma a aumentar a flexibilidade e a gama de detecção, e para reduzir ainda mais os custos.

A escolha destes sensores para este projecto deve-se ao facto de estes já terem sido utilizados no Departamento de Inovação da Micro I/O, não sendo assim necessário adquirir novo *hardware*.

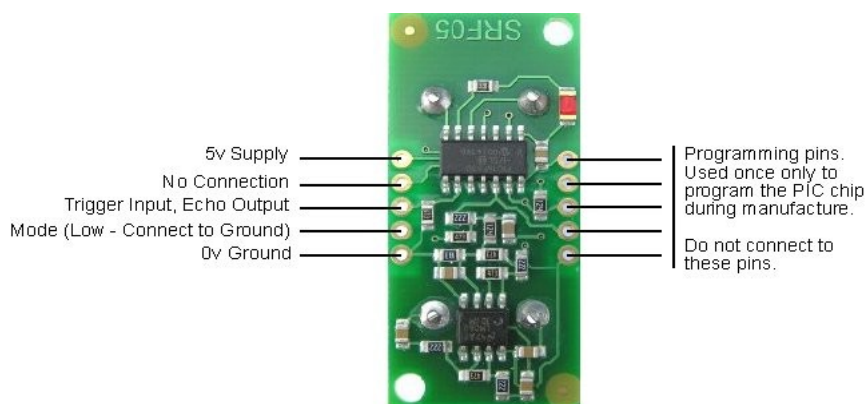


Figura 2.20: Interface do módulo de ultra-sons

Caracterização do sensor

Os sensores de medição de distâncias ultra-sónicas são construídos usando dois sensores piezoeléctricos, em que um destes sensores, ao ser excitado a 40 KHz emite uma onda que, quando embate num obstáculo, é reflectida originando uma onda de eco na direcção do segundo sensor piezoeléctrico, tal como ilustrado na Figura 2.21.

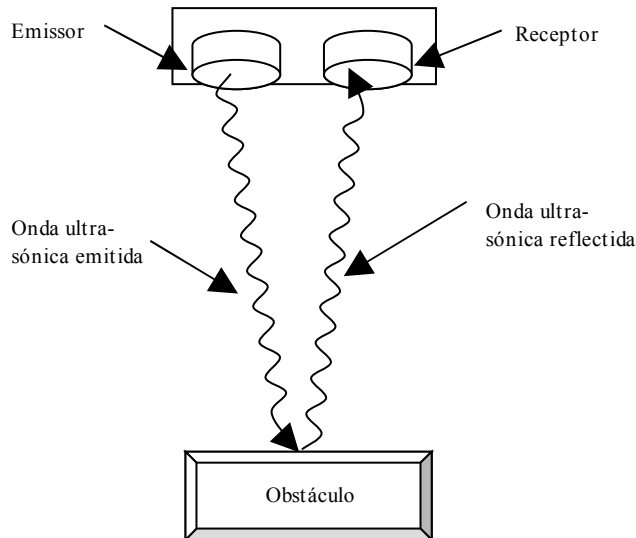


Figura 2.21: Esquema de medição de distâncias

Conhecendo a velocidade do som, para determinar a distância dos sensores ao objecto apenas é necessário medir o tempo decorrido desde o instante da emissão do sinal até ao instante em que se recebe o eco.

Como a velocidade do som varia com a temperatura, é necessário que o valor da velocidade do som venha compensado por este factor.

A dependência da velocidade do som com a variação da temperatura é dada pela expressão:

$$V_{som} = 20,1\sqrt{\theta} \text{ (m/s)}$$

A distância é dividida por dois, pois o tempo medido é o tempo da onda atingir o obstáculo e regressar ao sensor piezoeléctrico e, considerando que esse tempo é igual nos dois sentidos, divide-se por dois.

$$d = \frac{V_{som} \times \Delta t}{2} \text{ (m)}$$

O sensor utilizado permite a detecção de obstáculos entre distâncias de 3cm a 3 metros, e possui uma interface I/O com a entrada e saída digitais TTL e dois contactos para alimentação (+5V).

Modo de funcionamento

Para iniciar uma transmissão é necessário enviar um pulso com duração de 10µs pelo pino *Trigger Pulse Input* (P0). Depois do envio deste sinal de *trigger* o módulo SRF05 envia oito sinais ultra-sónicos.

No caso de algum obstáculo se encontrar no intervalo [3cm a 3metros] de medição do sensor, o módulo emite um sinal que é proporcional à distância a que o obstáculo se encontra (a duração deste sinal varia entre 100µs para distâncias mais curtas e 18ms para distâncias maiores). No caso

de não ser detectado qualquer obstáculo é gerado um pulso com a duração de cerca de 30ms, correspondente a um *timeout – out of range*.

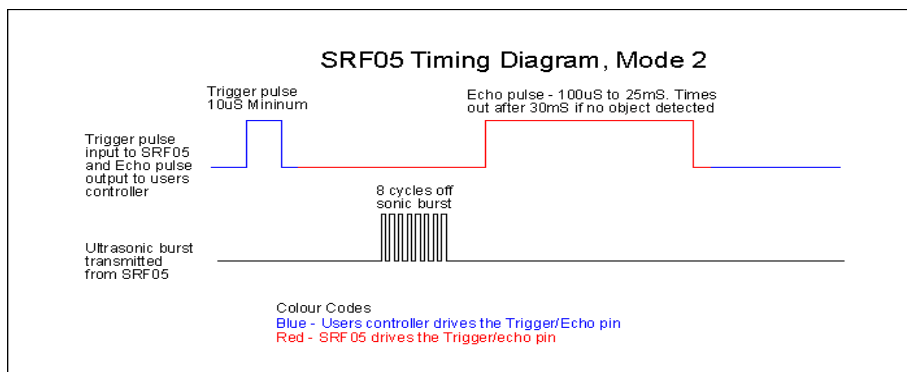


Figura 2.22: Diagrama temporal do SRF05

Assim que o pulso emitido pelo módulo termina, temos de esperar no mínimo cerca de 10ms antes de emitir o próximo *trigger pulse*. Este tempo de espera depende de vários factores e tem como objectivo a não detecção de eco referentes a pulsos anteriores.

Para converter o tempo do pulso de saída para a distância em centímetros correspondente, basta dividir o tempo por 58 [7,8].

Testes efectuados com os sensores SRF05

A utilização dos sensores de ultra-sons requer uma análise prévia das suas características por forma a que as suas potencialidades sejam totalmente exploradas. Nesse sentido, foram realizados diversos testes por forma a avaliar as características dos sensores. A planificação e realização dos testes tiveram como objectivos avaliar o feixe de ultra-sons (ângulo e alcance de detecção), bem como a frequência máxima de funcionamento dos sensores.

● Ângulo de detecção e alcance

O feixe ultra-sónico do sensor SRF05 tem a capacidade de detectar objectos que se encontrem num raio até cerca de aproximadamente 30° em qualquer direcção.

Por forma a garantir uma correcta detecção de qualquer obstáculo, foi considerado um raio de vigilância de 20° relativamente ao máximo ganho do módulo ultra-sónico.

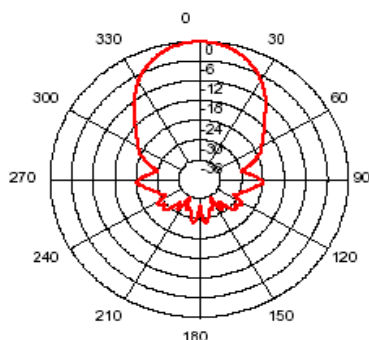


Figura 2.23: Diagrama de ganho de sinal do SRF05

A Figura 2.24 ilustra um dos testes realizados ao sensor por forma a avaliar o desempenho do

sensor, no que diz respeito ao ângulo de detecção e também ao alcance de detecção.

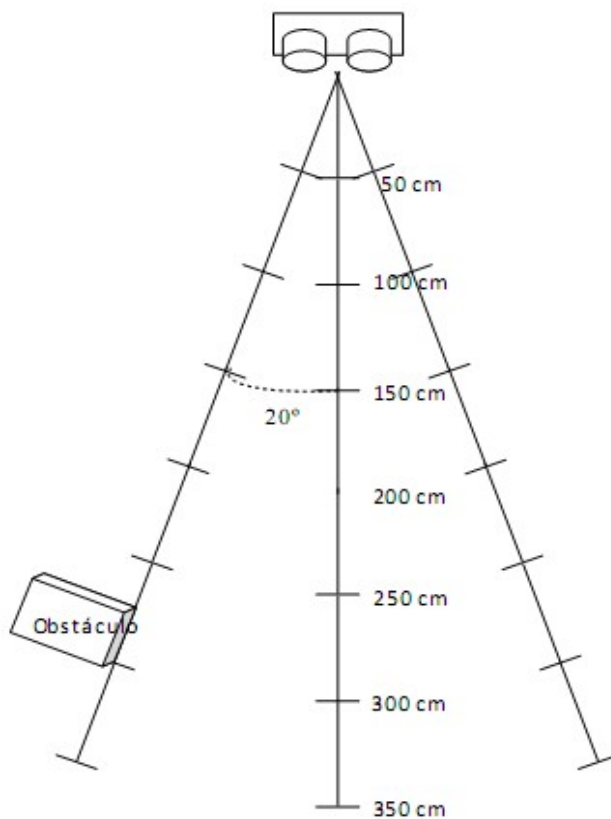


Figura 2.24: Esquema de testes ao SRF05

As tabelas 2.1 e 2.2 apresentam algumas medidas efectuadas com os sensores SRF05 para diferentes ângulos.

- Para um ângulo de 0° relativamente à perpendicular:

Medições com fita métrica (cm)	Média das medições obtidas com o sensor SRF05 (cm)
100	99
200	200
300	301
310	311
320	322
330	331
340	341
350	351

Tabela 2.1: Teste ao alcance do SRF05

- Para um ângulo de $\pm 20^\circ$ relativamente à perpendicular:

Medições com fita métrica (cm)	Média das medições obtidas com o sensor SRF05 (cm)
100	99
200	201
300	299
310	311
320	320
330	330
340	341
350	349

Tabela 2.2: Teste ao alcance do SRF05 num ângulo de 20°

O objecto utilizado como alvo era uma caixa de cartão com as seguintes características:

- Altura: 25 cm,
- Largura: 10 cm,
- Comprimento: 50cm.

• Frequência de funcionamento

O tempo máximo de execução de uma leitura de um sensor, é dado pelo tempo de voo do som emitido pelo sensor de ultra-sons, para uma distância máxima de 3 metros, acrescido da latência introduzida pelo módulo de comunicação utilizado:

$$v_{som} = 347,1 m/s \text{ a } 25^\circ C$$

Para efectuar a detecção de obstáculos para uma distância máxima de 3 metros, o tempo de voo do som emitido pelo sinal de ultra-sons, considerando o tempo de chegada ao obstáculo e tempo de regresso do eco, é dado por:

$$t_{voo} = (3 * 2)(m) / 347,1(m/s) = 17,3ms$$

O tempo de execução de uma leitura não introduz os tempos de processamento dos diversos micro-controladores. Os tempos de leitura podem variar entre 100 μs e 25 ms segundo as especificações do fabricante [7].

2.4.2 Modelização dos sensores para aplicação em cadeiras de rodas eléctricas

Nesta secção será apresentado um sistema de detecção de obstáculos baseado nos sensores SRF05, analisado na secção anterior, por forma a elaborar um modelo para aplicação em cadeiras de rodas eléctricas.

A utilização de sensores de ultra-sons em cadeiras de rodas para detecção de obstáculos tem vindo a aumentar, devendo-se principalmente, às vantagens inerentes à utilização dos ultra-sons.

Neste projecto, o objectivo é dotar uma cadeira de rodas eléctrica com um sistema de detecção de obstáculos para apoio à navegação.

Número de sensores a utilizar

A cadeira eléctrica tem 70 centímetros de largura, pelo que são necessários 5 sensores SRF05 para garantir que qualquer obstáculo é detectado na direcção do movimento da cadeira.

A Figura 2.25 ilustra a estrutura base da disposição dos sensores na cadeira.

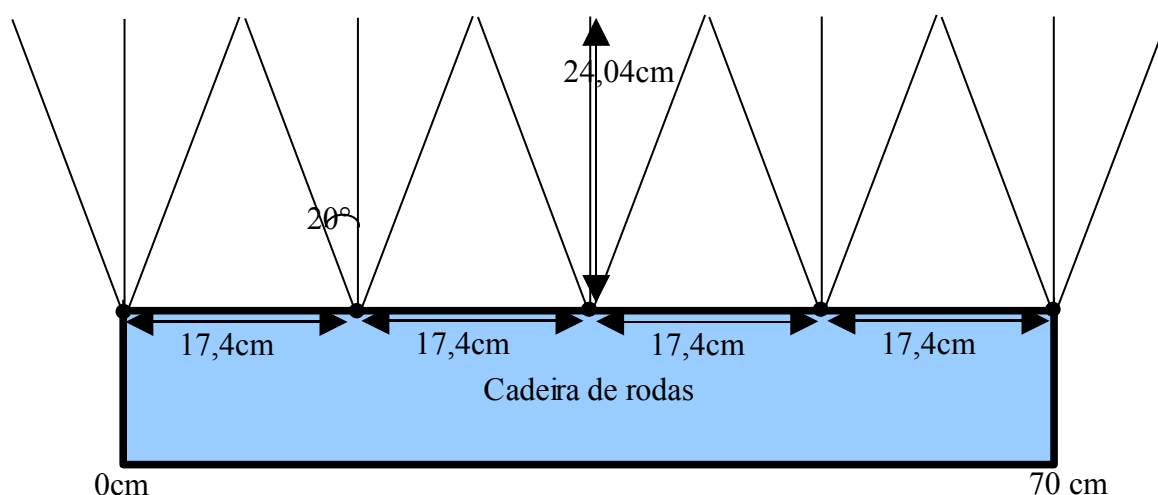


Figura 2.25: Esquema de utilização dos sensores na cadeira

É montado um sensor em cada uma das extremidades da cadeira e mais 3 sensores no espaço entre os dois das extremidades. Todos os sensores ficam distanciados do sensor mais próximo 17,4cm. Desta forma o perímetro total coberto pelos sensores é de 0,87metros.

Avaliação das características da cadeira de rodas

Para uma correcta configuração do sistema de detecção, é necessário ter em consideração alguns factores que podem influenciar o desempenho do sistema. Assim, aquando da elaboração do modelo dos sensores para implementar na cadeira de rodas, foram tidas em conta a velocidade da cadeira e o deslizamento que esta sofre depois de se largar o *joystick*.

A cadeira de rodas tida em conta tem 3 velocidades: V1, V2 e V3. A tabela a seguir apresenta as medições efectuadas com a cadeira numa distância de 7 metros e 30 centímetros :

	1ª Leitura (cm)	2ª Leitura (cm)	3ª Leitura (cm)	Média (cm)	Velocidade (m/s)	Velocidade (Km/h)
V1	48	47	48	48	0,15	0,55
V2	8	8	8	8	0,91	3,29
V3	4,41	5,19	5,09	5	1,49	5,37
Deslizamentos, isto é, quanto a cadeira anda depois de se largar o joystick em cm						
V1	Não tem (aparentemente)					
V2	71	59	66	65,3		
V3	167	168	168	167,5		

Tabela 2.3: Testes à cadeira de rodas

Configuração do sistema de detecção de obstáculos

A segurança do utilizador de um sistema deste tipo, tratando-se de pessoas bastante vulneráveis, deve em qualquer situação ser salvaguardada e as possíveis lacunas do sistema devem ser colmatadas por forma a atingir esse objectivo.

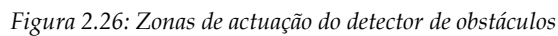
Nesse sentido, e por forma a garantir um correcto funcionamento dos sensores, o tempo de execução dos sensores foi configurado para 100 ms para cada sensor (valor superior ao mínimo dado pelo fornecedor), podendo este tempo ser aumentado sem que isso leve a um mau funcionamento dos sensores.

Como são necessários 5 sensores de ultra-sons, e a leitura é feita em anel, considerando que um sensor S1 efectuou a leitura no instante T1, a próxima leitura desse mesmo sensor S1 ocorrerá aproximadamente no instante T1+500ms.

Para mais fácil compreensão deste modelo, foram definidas três zonas distintas de detecção, isto é, um obstáculo que seja detectado entre 1,10 metros e 2 metros em relação aos sensores encontra-se na **zona de pré-scanning**, um obstáculo detectado entre 1,10 metros e 0,60 metros encontra-se na **zona de scanning**, e um obstáculo detectado entre 0,60 metros e os sensores está na **zona de perigo**.

O comportamento do sistema deve portanto diferir de zona para zona, isto é, a resposta do sistema à presença de um obstáculo na zona de *pré-scanning* não é a mesma se o obstáculo for detectado na zona de *scanning* ou de perigo.

Importa então definir o comportamento do sistema perante as possíveis situações com que será confrontado. Para tal são consideradas as condições fronteira de cada intervalo de detecção e as diferentes velocidades suportadas pela cadeira.



Quando um obstáculo é detectado numa distância superior a 2m ($d > 2m$) o movimento e velocidade da cadeira não são alterados.

Quando o obstáculo é detectado numa distância $0,6\text{m} < d \leq 1,10\text{m}$ a velocidade da cadeira deve ser reduzida para V1.

Para garantir o correcto funcionamento do sistema é necessário garantir que qualquer obstáculo é detectado em todas as diferentes zonas de detecção. Para tal, é necessário determinar a distância que a cadeira percorre nas diferentes zonas de detecção, entre leituras consecutivas do mesmo sensor.

	V1	V2	V3
Distância percorrida pela cadeira entre leituras do mesmo sensor	$0,153\text{m/s} * 0,5\text{s} = 0,076\text{ m}$	$0,913\text{m/s} * 0,5\text{s} = 0,456\text{m}$	$1,5\text{m/s} * 0,5\text{s} = 0,75\text{m}$

Tabela 2.4: Distância percorrida pela cadeira entre leituras consecutivas do mesmo sensor

Num cenário inicial, este modelo seria aceitável, no entanto é necessário colocar todos os cenários surgindo novos problemas que o sistema apresentado anteriormente seria incapaz de resolver. Importa portanto analisar as situações “críticas” encontradas.

- **Quando um obstáculo é detectado a 2,01m:**

Nesta situação a cadeira desloca-se na velocidade V3 e a próxima leitura do mesmo sensor ocorre passados 500ms. No intervalo de tempo decorrido entre leituras consecutivas do mesmo sensor, a cadeira percorre uma distância de 0,75m (ver tabela 2.4) e, aquando da leitura do sensor, a cadeira encontra-se a 1,26m do obstáculo, logo a cadeira deve passar da velocidade V3 para a velocidade V2, visto estar a aproximar-se do obstáculo.

O sensor que detectou o obstáculo vai efectuar nova leitura 500ms depois, e nessa altura a cadeira desde a última leitura, à velocidade V2 percorreu 0,460m. Nesta leitura a cadeira encontra-se a 0,8m do obstáculo, e a cadeira deve passar da velocidade V2 para a velocidade V1.

Quando o sensor procede à próxima leitura, a cadeira à velocidade V1 percorreu uma distância de 0,076m, estando então a 0,724m do obstáculo.

Na próxima leitura do sensor a cadeira, à mesma velocidade, percorreu novamente 0,076m em relação à posição da última leitura, estando agora a 0,648m do obstáculo, e na leitura seguinte do sensor a cadeira, ainda à velocidade V1, percorreu também 0,076m relativamente à posição anterior encontrando-se agora a 0,572m do obstáculo. Como a cadeira atingiu o limite inferior definido (0,6m) a cadeira deve parar.

Como à velocidade V1 a cadeira não apresenta distância de deslizamento (ver tabela 2.3), logo fica imobilizada a uma distância segura relativamente ao obstáculo.

- **Uma outra situação crítica que pode ocorrer é quando um obstáculo é detectado a 1,99m.**

Nesta situação o obstáculo já foi detectado na leitura anterior do sensor a uma distância de 2,74m da cadeira, tendo então mantido a velocidade V3. Ao ser detectado a 1,99m, é dada a ordem à cadeira para passar da velocidade V3 para a velocidade V2.

Na próxima leitura do sensor (500ms depois), a cadeira, à velocidade V2, percorreu 0,46m e está a 1,53m do obstáculo. A cadeira segue à velocidade V2 até nova leitura.

Na leitura seguinte a cadeira à mesma velocidade V2 percorreu 0,457m e encontra-se agora a 1,07m relativamente à posição anterior, entrando na zona de *scanning*, logo a cadeira deve passar da velocidade V2 para a velocidade V1.

Passados 500ms, é efectuada nova leitura pelo mesmo sensor e a cadeira á velocidade V1 percorreu uma distância de 0,076m e encontra-se agora a 0,994m do obstáculo. Na leitura seguinte a cadeira percorreu mais 0,076m e está agora a 0,917m do obstáculo. A cadeira vai-se aproximando-se do obstáculo a uma velocidade V1 constante, e percorrendo 0,076m entre leituras sucessivas do mesmo sensor. Após a última leitura efectuada pelo sensor, onde a cadeira se encontrava a 0,917m do obstáculo, são efectuadas mais quatro leituras pelo mesmo sensor tendo a cadeira percorrido uma distância de 0,306m, estando no momento da quarta leitura a uma distância de 0,611m, portanto dentro da zona de *scanning*.

Na leitura seguinte a cadeira percorreu mais 0,076m e está agora a 0,535m do obstáculo, passando da zona de *scanning* para a zona de perigo. Nesta situação a cadeira deverá parar.

Como este modelo de funcionamento não é necessário alterar a frequência de amostragem dos

sensores, estando garantido que a cadeira é imobilizada numa distância segura em relação ao obstáculo.

● Passagem em portas

Com os 5 sensores na parte frontal da cadeira, e como cada um “cobre” uma linha de horizonte com 17,4cm, a uma distância de 24,04cm, a linha total de cobertura do conjunto dos sensores é de 87cm.

Coloca-se aqui outro problema:

A 0,6m da cadeira, no limite em que deve ser imposta a paragem da cadeira, a linha de cobertura dos sensores é de 1,14m. A cadeira irá parar quando for detectado um obstáculo a 0,6m de distância, e numa área de 1,14m. Numa possível situação, que é a passagem por uma porta, caso a porta não tenha mais de 1,14m, de largura a cadeira apesar de apenas ter 0,7m de largura, não irá passar pela porta pois o sistema de detecção de obstáculo irá interpretar a porta como um obstáculo que irá embater com a cadeira.

Uma possível solução para tentar minimizar este problema é diminuir o limite em que é imposta a paragem da cadeira para 0,4m e ajustar os limites das zonas de *scannig* e *pré-scanning* (ver Figura 2.27).

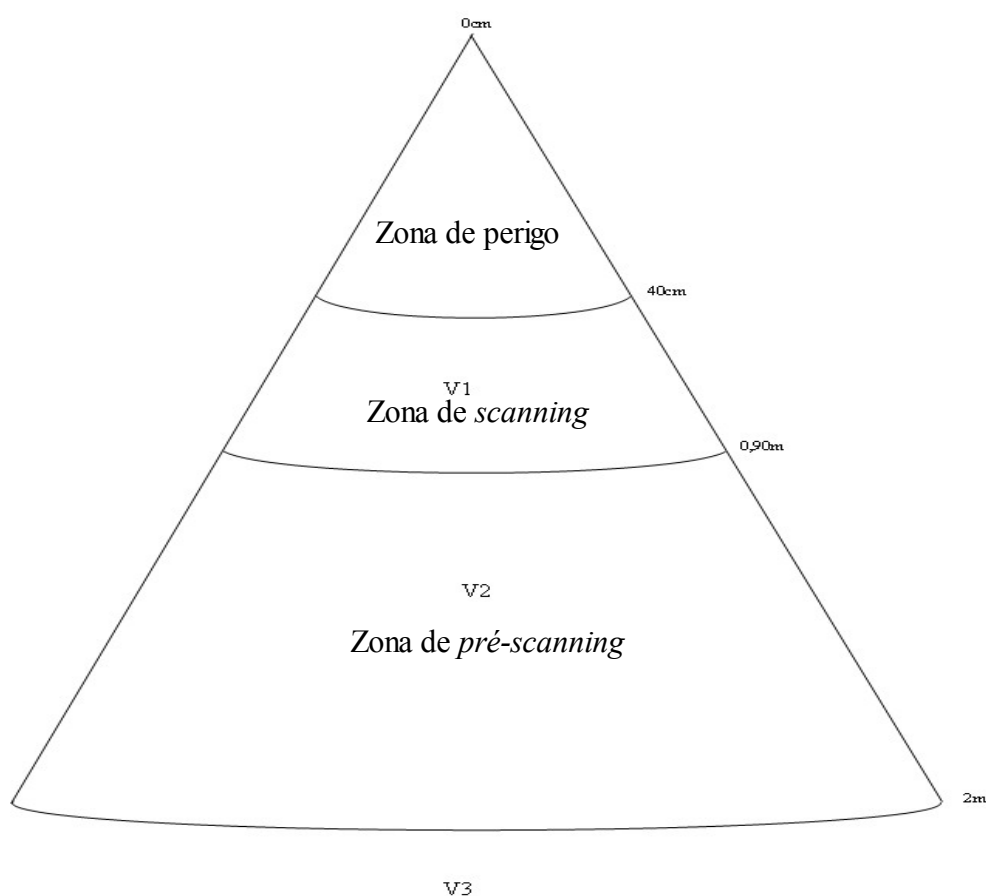


Figura 2.27: Ajuste dos limites de detecção

Com este modelo, quando um obstáculo é detectado numa distância superior a 2m ($d > 2m$), o movimento e velocidade da cadeira não são alterados. Já quando o obstáculo é detectado numa distância $0,9m < d \leq 2m$ a velocidade da cadeira deve ser reduzida, devendo esta passar a deslocar-se à velocidade V2. Quando o obstáculo é detectado numa distância $0,4m < d \leq 0,9m$ a velocidade da cadeira deve ser reduzida para V1. Quando o obstáculo é detectado numa distância $d \leq 0,4m$ a cadeira deve parar o movimento.

Para garantir o correcto funcionamento do sistema é necessário garantir que qualquer obstáculo é detectado em todas as diferentes zonas de detecção.

Definidos novos limites de detecção é necessário analisar novamente situações críticas que possam surgir.

- **Quando um obstáculo é detectado a 2,01m:**

Nesta situação a cadeira desloca-se à velocidade V3 e a próxima leitura do mesmo sensor ocorre passados 500ms. No intervalo de tempo decorrido entre leituras do mesmo sensor, a cadeira percorre uma distância de 0,75m (ver tabela 2.4).

Quando a cadeira se encontra a 1,26m do obstáculo, a cadeira deverá passar da velocidade V3 para a velocidade V2, estando agora na zona de *pré-scanning*.

O sensor que detectou o obstáculo vai efectuar nova leitura 500ms depois e nessa altura a cadeira, à velocidade V2, percorreu 0,46m. Nesta leitura a cadeira encontra-se a 0,8m do obstáculo, e a cadeira deve passar da velocidade V2 para a velocidade V1, estando agora na zona de *scanning*.

Quando o sensor procede à próxima leitura, a cadeira, à velocidade V1, percorreu uma distância de 0,0765m, estando então a 0,724m do obstáculo. Na próxima leitura do sensor a cadeira à mesma velocidade percorreu novamente 0,0765m em relação à posição da última leitura, estando agora a 0,648m do obstáculo. A cadeira vai-se deslocando à velocidade V1 percorrendo 0,0765m entre leituras do mesmo sensor, até que numa das leituras o obstáculo é detectado a 0,343m. Nesta leitura dos sensores o obstáculo está já na zona de perigo e a cadeira deverá ser imobilizada. Esta imobilização acontece a uma distância segura do obstáculo pois a cadeira à velocidade V1 a que se deslocava não apresenta deslizamento (ver tabela 2.3).

- **Outra situação crítica que pode ocorrer é quando um obstáculo é detectado a 1,99m.**

Nesta situação o obstáculo já foi detectado na leitura anterior do sensor a uma distância de 2,74m da cadeira, tendo então, a cadeira mantido a velocidade V3. Ao ser detectado a 1,99m, a cadeira deve reduzir a velocidade de V3 para V2, estando agora na zona de *pré-scanning*.

Na próxima leitura do sensor (500ms depois) a cadeira, à velocidade V2, percorreu 0,457m e está agora a 1,53m do obstáculo. A cadeira segue à velocidade V2 até nova leitura.

Na leitura seguinte a cadeira, à mesma velocidade V2, percorreu 0,457m e encontra-se agora a 1,07m relativamente à posição anterior, mas ainda dentro da zona de *pré-scanning*.

Na leitura seguinte a cadeira, à mesma velocidade, percorreu 0,457m e encontra-se agora a 0,613m relativamente à posição anterior. Como ultrapassou o limite dos 0,9m, a cadeira, deve passar da velocidade V2 para a velocidade V1, estando agora o obstáculo na zona de *scanning*.

Passados 500ms, é efectuada nova leitura pelo mesmo sensor e a cadeira, à velocidade V1, percorreu uma distância de 0,076m e encontra-se agora a 0,537m do obstáculo. Na leitura seguinte, a cadeira, percorreu mais 0,076m e está agora a 0,46m do obstáculo. Na leitura seguinte, a cadeira, percorreu mais 0,076m e está agora a 0,384m do obstáculo. Como ultrapassou o limite dos 0,4m, isto é, o obstáculo está na zona de perigo, a cadeira deverá parar o movimento.

Como este modelo de funcionamento não é necessário alterar a frequência de amostragem dos sensores, estando garantido que a cadeira é imobilizada numa distância segura em relação ao obstáculo.

Com o reajuste do modelo de detecção, foi possível minimizar a situação, e a 0,4m da cadeira, no limite em que deve ser imposta a paragem da cadeira, a linha de cobertura dos sensores passa

para 0,99m. A cadeira irá parar quando for detectado um obstáculo a 0,4m de distância, e numa área de 0,99m.

2.5 . Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a tecnologia de ultra-sons, utilizada neste projecto para desenvolver um modelo de detecção de obstáculos para aplicação em cadeiras de rodas adaptadas.

Pelos testes efectuados, o modelo desenvolvido é funcional permitindo um apoio à navegação em cadeiras de rodas eléctricas em ambientes hostis para os utilizadores das cadeiras de rodas adaptadas.

Capítulo 3

Utilização de comunicações sem fios em assistive technologies

3.1 . Introdução

As WPANs (*Wireless Personal Area Networks*) são redes que conectam dispositivos de comunicação, próximos entre si, via rádio. Um exemplo de uma WPAN é a conexão entre um computador e o seu periférico.

O surgimento das WPANs resultou da necessidade em se substituir os cabos de curta distância por um sistema sem fios que oferecesse a mesma qualidade e rapidez de transmissão. Uma WPAN pode então ser definida como uma rede composta por dispositivos pessoais, usando tecnologias para comunicação sem fios de curto alcance.

O grupo de trabalho IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.15 concentra-se sobre as redes do tipo WPAN e permitiu o desenvolvimento de inúmeras tecnologias deste tipo de comunicações *wireless*, tais como: *Bluetooth* (IEEE 802.15.1), *Ultra Wide Band (UWB)* (IEEE 802.15.3) e *ZigBee* (IEEE 802.15.4).

Este capítulo pretende fazer uma breve descrição dos protocolos sem fios mais utilizados actualmente: *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *Ultra Wide-Band*. Será feita também uma abordagem à tecnologia *ZigBee*, pois para além de se tratar de uma tecnologia emergente na área das comunicações sem fios, é perspectivada a sua posterior aplicação no projecto em desenvolvimento.

3.2 . Bluetooth - IEEE 802.15.1

O *Bluetooth* [9] é um protocolo de comunicação sem fios para sistemas de curto alcance, que pretende substituir os cabos que interligam dispositivos fixos e móveis.

Esta tecnologia possui inúmeras aplicações para trocas de dados entre periféricos e equipamentos móveis (telemóveis, *smartphones* e PDAs). O protocolo *Bluetooth* foi desenvolvido para permitir a utilização das comunicações sem fios de forma fácil para o utilizador final, sem a necessidade de configurações prévias pelo utilizador.

Utiliza a banda de frequências não licenciada, *Industrial-Scientific-Medical (ISM)* como o meio físico partilhado, que é neste momento definida universalmente pelas frequências 2.402-2.4835 MHz sendo a largura de banda útil dividida em 79 canais, onde cada canal utiliza uma largura de banda de 1 MHz. Para permitir o acesso múltiplo é usada uma técnica de espalhamento na frequência *Spread Spectrum (SS)* denominada por *Frequency Hopping (FH)*, na qual é permitido à portadora saltar de frequência em frequência de acordo com uma sequência predefinida.

A versão actual do protocolo *Bluetooth* é a 2.1+*Enhanced Data Rate (EDR)* editada em Julho de 2007. O grupo de trabalho IEEE 802.15 adoptou em 2002 a versão 1.1 do protocolo *Bluetooth* do *Special Interest Group (SIG)* e criou o standard IEEE 802.15.1 [10].

A versão 1.1 do protocolo *Bluetooth* define as especificações de um protocolo de comunicações sem fios, de baixo consumo e curto alcance, e que utiliza ondas de rádio para enviar com uma taxa de transmissão que pode atingir os 720 Kbps. Este protocolo especifica diferentes classes de rádio que permitem transmissões de dados em distâncias até 100 metros com um consumo de 100 mW. O protocolo *Bluetooth* não limita a transmissão à linha de vista, na medida em que utiliza ondas rádio que conseguem propagar-se, mesmo havendo obstáculos a obstruir a linha de vista.

Os circuitos integrados *Bluetooth* são de pequenas dimensões, o que lhes confere uma fácil integração em sistemas móveis com controladores de baixa complexidade, tipicamente *RISC (Reduced Instruction Set Computer)*, garantindo uma conectividade sem fios de elevada robustez. A robustez de performance do protocolo *Bluetooth* deriva do mecanismo de *FHSS (Frequency-Hop Spread Spectrum)* minimizando a interferência entre sinais rádio na mesma gama de frequências.

São possíveis transmissões síncronas orientadas à conexão a 64kbps, principalmente para aplicações de voz, como operar num modo assíncrono sem conexão a 1Mbps para transferência de dados. Ambos fazem parte do standard e podem ser configurados na sub-camada *MAC (Medium Access Control)* pelos modos *SCO (synchronous connection oriented)* e *ACL (asynchronous connectionless)*.

3.2.1 Topologia da rede

As ligações são criadas segundo uma topologia *ad-hoc* não havendo assim uma infra-estrutura que dê suporte à comunicação. Este processo foi optimizado de forma a permitir que um grande número de ligações *ad-hoc* descoordenadas possam coexistir na mesma área.

O terminal que estabelece o canal é denominado de *master* e tem como função efectuar a gestão dos recursos rádio no canal sendo a este possível comunicar activamente com um máximo de 7 terminais no mesmo canal, podendo haver canais co-localizados que serão diferenciados entre si pelo *master* de cada canal. Para ligações ponto-a-ponto o mesmo canal será partilhado por 2 terminais; em ligações ponto-multiponto o mesmo canal é partilhado por um máximo de 8 terminais. Os restantes dispositivos que utilizam o canal são denominados de *slaves*. Um *slave* é uma estação controlada por um *master* numa configuração de rede temporária chamada *piconet*.

Tipicamente, nas aplicações *Bluetooth*, podem coexistir várias *piconets* independentes e não sincronizadas nos saltos de frequência (evitando interferência entre *piconets*). Neste caso é formado um sistema *ad-hoc* denominado por *scatternet* composto de múltiplas redes *piconet*, cada uma contendo um número limitado de dispositivos.

A Figura 3.1 ilustra a topologia de rede *Bluetooth scatternet*.

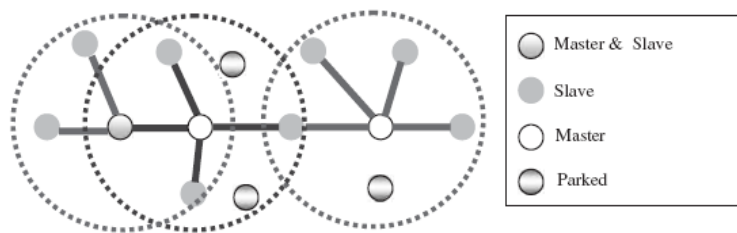


Figura 3.1: Topologia da rede Bluetooth [11]

Um dispositivo *Bluetooth* pertencente a uma *piconet* pode participar noutras *piconets* usando o mecanismo de *Time Division Multiplex (TDM)*. Um *master* de uma *piconet* pode ser um *slave* da *piconet* vizinha.

3.2.2 Arquitectura

A arquitectura da tecnologia *Bluetooth* é definida segundo duas componentes [12], o núcleo e os perfis. As especificações do núcleo definem o funcionamento da tecnologia (meio físico, pilha protocolar e topologia de rede). As especificações dos perfis focam o desenvolvimento de dispositivos interoperáveis que utilizam as tecnologias do núcleo.

Pilha Protocolar

As especificações do protocolo *Bluetooth* não definem apenas o meio físico (comunicações rádio), mas também uma pilha de comunicações completa. Esta pilha é responsável pela definição dos protocolos de comunicação e por permitir que os dispositivos encontrem os seus vizinhos e anunciem os seus serviços. A Figura 3.2 descreve a pilha protocolar *Bluetooth*.

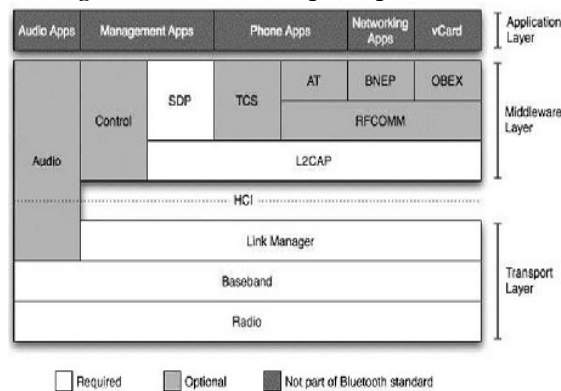


Figura 3.2: Pilha protocolar Bluetooth [13]

A pilha protocolar *Bluetooth* pode ser dividida em três blocos distintos: *application*, *middleware* e *transport*. O grupo de protocolos *application* é constituído pelas aplicações (baseadas em *Bluetooth* ou não) que utilizam a tecnologia *Bluetooth*.

O grupo de tecnologias *middleware* consiste em protocolos específicos *Bluetooth*, como a emulação da porta série (*RFCOMM*) e outros protocolos adaptados, como o *Object Exchange Protocol (OBEX)*.

O grupo de protocolos de *transport* é constituído por protocolos desenvolvidos exclusivamente para a tecnologia *Bluetooth*, como o *Logic Link Control and Application Protocol (L2CAP)* e o *Host Controller Interface (HCI)*.

Perfis

Os perfis do protocolo *Bluetooth* definem a forma como a tecnologia é utilizada, isto é, como componentes distintos da especificação do protocolo podem ser combinados de forma a cumprirem os requisitos de um dispositivo *Bluetooth*. Um perfil pode ser visto como uma fatia vertical da pilha protocolar *Bluetooth*. Desta forma, são seleccionadas determinadas funcionalidades de cada camada, de acordo com as especificações da aplicação *Bluetooth* a ser desenvolvida.

O conceito de perfil permite reduzir o risco de problemas de interoperabilidade entre produtos de diferentes fabricantes. Estes perfis não acrescentam novas especificações ao protocolo *Bluetooth*. É por este motivo que, quando necessário, podem ser adicionados novos perfis. Na Figura 3.3 encontram-se diversos perfis de acordo com a listagem do grupo SIG.

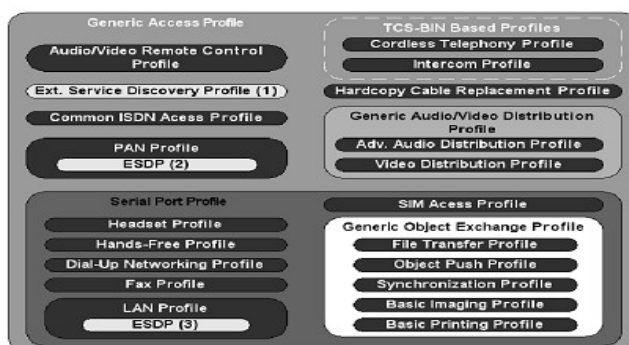


Figura 3.3: Perfis Bluetooth [14]

Como ilustrado, os perfis *Bluetooth* estão organizados em grupos. Cada grupo herda as funcionalidades do grupo abaixo. Podem ser adicionadas novas funcionalidades quando necessário. Este esquema permite a renovação de funcionalidades entre perfis, reduzindo deste modo os custos de desenvolvimento.

3.3 . Wi-Fi

O protocolo IEEE 802.11 [15] é actualmente o standard das comunicações sem fios nas redes locais (LANs). O objectivo inicial deste protocolo era especificar as camadas de Controlo de Acesso ao Meio (MAC: *Medium Access Control*) e Camada Física (PHY: *Physical*) para a conectividade sem fios de estações fixas, portáteis ou móveis numa área local.

Os dispositivos *Wi-Fi* são essencialmente utilizados de forma a promover serviços de *broadband*, garantindo acesso a redes privadas ou públicas através de interface sem fios. Após o seu lançamento em 1997, o protocolo IEEE 802.11 foi rectificado em 1999, de forma a suportar taxas de transmissão acima da barreira dos 10 Mbps. Em 2003 foram introduzidas alterações de forma a alargar as taxas de transmissão para 54 Mbps na banda dos 2.4 GHz. Esta evolução deveu-se à crescente necessidade de largura de banda devido ao volume de informação crescente das aplicações.

3.3.1 Topologia de rede

O Conjunto Básico de Serviços (BSS: *Basic Service Sets*) constitui o bloco básico de construção de uma rede sem fios, em que um grupo de estações comunica entre si.

A Figura 3.4 ilustra as duas formas que o BSS pode assumir: independente e infraestrutura.

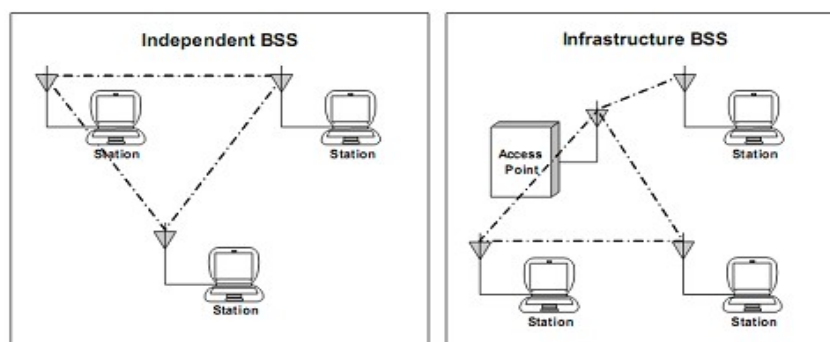


Figura 3.4: Topologias de rede suportadas pelo protocolo IEEE 802.11 [14]

A topologia básica de uma rede sem fios é constituída por um conjunto de estações que têm conhecimento dos componentes da rede, e que estão ligadas através do meio de comunicação sem fios de uma forma *peer-to-peer*. Este tipo de topologia de rede é conhecido por Conjunto Básico de Serviços Independente (IBSS: *Independent Basic Service Sets*) ou rede *Ad-hoc*. As redes IBSSs são estabelecidas de modo a permitir a conectividade em áreas de pequena dimensão, para um pequeno número de estações e durante curtos períodos de tempo.

Redes com infraestruturas utilizam pontos de acesso (AP: *Access Point*) como intermediário nas comunicações. Quando uma estação pretende comunicar, esta tem de enviar a informação para o AP, mesmo que, a estação destino esteja dentro do raio de alcance da estação emissora. Posteriormente, a estação reencaminha a informação para a estação destino. Apesar da comunicação ser efectuada em dois passos, este processo apresenta duas vantagens:

- O alcance máximo de uma rede infraestrutura BSS depende da cobertura do AP. Deste modo é possível que duas estações que não estejam dentro do raio de alcance comuniquem entre si usando o AP como intermediário.
- As estações são normalmente equipamentos móveis alimentados por baterias. Caso os APs emitam tramas de reconhecimento às estações, durante o modo de poupança energética, os APs armazenam toda a informação e enviam a mesma quando solicitado pelas estações. As estações não necessitam de estar permanentemente à escuta de informação proveniente dos APs.

3.3.2 Arquitectura

O protocolo 802.11 é semelhante ao protocolo 802.3 (*Ethernet*). Estes protocolos diferem nos seguintes aspectos [16] :

- Os dispositivos compatíveis com o protocolo 802.11 possuem funcionalidades que lhes permitem operar numa topologia *peer-to-peer* ou interligados numa rede LAN cablada,
- Coexistência de múltiplas redes sem fios e mobilidade dos dispositivos entre redes distintas,
- Serviços de entrega de dados e controlo de acesso à camada MAC, disponibilizados para as camadas superiores das redes 802.11,
- Diversas formas de modulação e interface na camada física,
- Segurança e privacidade de dados transmitidos sobre o meio sem fios.

A Figura 3.4 representa a correspondência entre o protocolo 802.11 e o modelo de referência OSI.

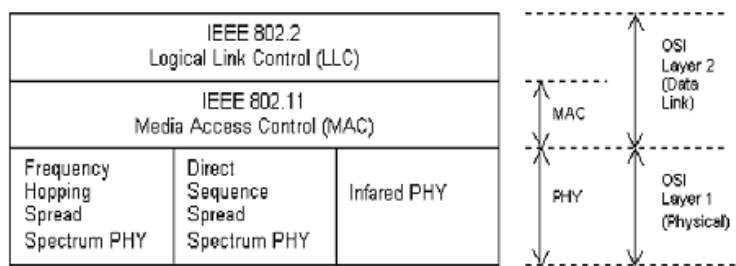


Figura 3.5: Arquitectura da pilha protocolar IEEE 802.11 e correspondência com o modelo OSI

As redes 802.11 são constituídas por quatro componentes físicos:

- Sistema de Distribuição (DS: *Distribution System*),
- Pontos de Acesso (AP: *Access Point*),
- Meio de Comunicação Sem Fios,
- Estações.

A Figura 3.5 ilustra a forma como estes componentes estão relacionados.

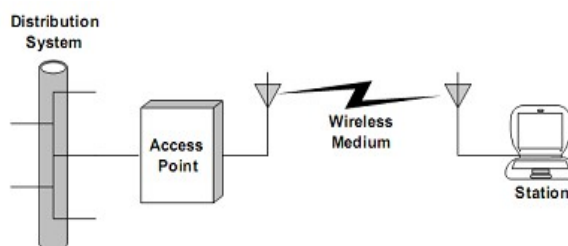


Figura 3.6: Componentes do protocolo IEEE 802.11

O DS é a interface que estabelece a ligação entre estações de uma rede WLAN para o exterior, reencaminhando os pacotes para os respectivos destinos. Os APs convertem os pacotes no formato IEEE 802.11 para diferentes formatos, permitindo deste modo que estes sejam transmitidos em diferentes canais de comunicação (por exemplo a *Ethernet*).

O protocolo IEEE 802.11 utiliza um meio sem fios como canal de comunicações, sendo esse meio baseado em dois tipos de acesso *PHYs*: Rádio Frequência (RF) e infravermelhos. O *PHY RF* tornou-se o mais popular devido ao maior alcance e melhor rendimento, visto não ser necessário que os dispositivos estejam em linha de vista.

A estação é um dispositivo que contém as funcionalidades do protocolo 802.11, nomeadamente *MAC*, *PHY*, e uma ligação ao meio sem fios. Tipicamente estas funcionalidades estão implementadas no hardware e software de uma placa de interface à rede (*NIC: Network Interface Card*).

Controlo de Acesso ao Meio (MAC)

A camada *MAC (Medium Access Control)* do protocolo IEEE 802.11 implementa diversos mecanismos que permitem controlar o acesso ao meio físico. Esta camada usa os mecanismos da camada *PHY* para aceder ao canal físico, permitindo a troca de dados entre as camadas superiores de aplicação e o dispositivo com o qual a aplicação pretende trocar dados.

O envio de dados pela camada *MAC* baseia-se no método assíncrono, *best-effort* e comunicação sem ligação. A camada *MAC* implementa também um mecanismo controlado de

acesso ao meio partilhado, denominado *Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA). Através deste mecanismo, um dispositivo IEEE 802.11 apenas transmite um conjunto de dados após a verificação, por um período de tempo, que o canal se encontra livre para transmissão.

Outra funcionalidade desta camada é a de proteger os dados que são transmitidos através de serviços de segurança e privacidade. A segurança é disponibilizada pelos serviços de autenticação e um serviço de encriptação de dados, o *Wireless Equivalent Privacy* (WEP).

Camada Física (PHY)

A camada física do protocolo IEEE 802.11 estabelece a interface entre a camada MAC e o meio físico. Esta camada disponibiliza três funcionalidades:

- Interface para a troca de informação com a camada superior do MAC,
- Transmissão de dados através de uma portadora,
- Indicação para que a camada MAC verifique a actividade do meio.

O protocolo IEEE 802.11 define as seguintes vertentes da camada física PHY:

- Taxas de transmissão de 1 e 2 Mbps utilizando modulação *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) e *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS),
- Uma extensão ao protocolo inicial define taxas de transmissão de 5.5 e 11 Mbps (802.11a), utilizando modulação *High Rate DSSS* (HR/DSSS),
- Outra extensão ao protocolo 802.11 (802.11a) define múltiplas técnicas de multiplexagem na banda dos 5 GHz, de forma a atingir taxas de transmissão de 54 Mbps, utilizando modulação *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM),
- A versão 802.11g permitiu o aumento do ritmo de transmissão máximo dos dispositivos que operam na banda dos 2.4 GHz, para 54 Mbps, utilizando a mesma modulação utilizada na revisão 802.11a (HR/DSSS).

3.4 . UWB - IEEE 802.15.3

A tecnologia *Ultra-Wide Band* (UWB) é conhecida e utilizada há vários anos em aplicações militares. Contudo, foi apenas nos anos 90, na Universidade da Califórnia do Sul que se iniciou o desenvolvimento do UWB como uma tecnologia de comunicações sem fios comercial [17]. Os primeiros sistemas UWB baseavam-se na tecnologia rádio, onde pequenos impulsos eram emitidos pelo ar [18]. Baseada nesta técnica, a empresa *Time Domain Inc*, em 1998 produziu o primeiro transmissor UWB baseado no circuito integrado *PulsOn 100*. Mais tarde, uma empresa recém formada, *XtremeSpectrum*, desenvolveu um circuito integrado denominado *Trinity* que suportava taxas de transmissão de 100 Mbps, usando o protocolo IEEE 802.15.3.

O crescente interesse nesta tecnologia em comunicações sem fios para aplicações não militares, deveu-se à alocação do UWB no espectro de frequências por parte da *Federal Communications Commission* (FCC).

Existem duas abordagens para a utilização de UWB: o MB-OFDM (*Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e o DS-UWB (*Direct Sequence UWB*). A Aliança Wimedia desenvolveu a proposta baseada em MB-OFDM e o UWB Forum a DS-UWB.

Em Março de 2005, o grupo IEEE 802.15.4a propôs a utilização de impulsos rádio na gama de operação UWB para aplicações de baixa taxa de transferência.

A FCC define a tecnologia UWB com sendo um sinal RF que ocupe pelo menos 500 MHz dos 7.5 GHz do espectro, entre as frequências 3.1 GHz e 10.6 GHz. O espectro UWB estende-se de 3.1GHz a 10.6GHz mas qualquer espectro com banda superior a 1.5GHz [19] pode ser utilizado. A restrição de potência permitida (-41.3 dbm/MHz) assegura o curto alcance (Figura 3.7).

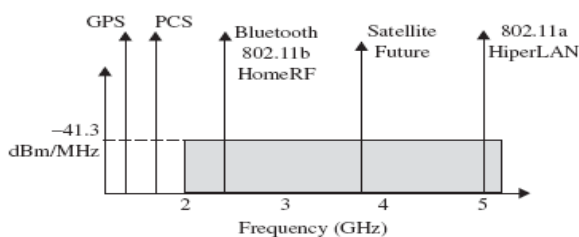


Figura 3.7: Potência de transmissão para UWB

Para permitir uma largura de banda tão elevada, a FCC estabelece regras muito estritas na potência máxima emitida durante a transmissão de sinal. Deste modo, os dispositivos compatíveis com esta tecnologia podem utilizar uma largura de banda muito vasta sem o risco de ocorrência de interferência com outros dispositivos de comunicação rádio. Devido às limitações da potência do sinal emitido, os dispositivos compatíveis com a tecnologia UWB apresentam baixo consumo energético.

A aliança *WiMedia* aproveita as vantagens da tecnologia UWB (elevada taxa de transmissão e consumo energético reduzido) para definir uma plataforma de rádio comum que serve de suporte a outros protocolos. A plataforma de rádio comum *WiMedia* UWB define as especificações das camadas *MAC* e *PHY* com base na modulação *OFDM*. A plataforma UWB suporta novos protocolos de comunicação emergentes, tais como o *Wireless USB*, *Wireless IP* (*WiNET*), *Bluetooth* e *IEEE1394*.

A Figura 3.8 [13] ilustra a arquitectura protocolar da plataforma definida pela aliança *WiMedia*.

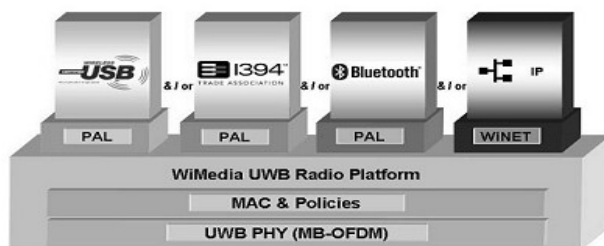


Figura 3.8: Plataforma da Aliança WiMedia

As especificações *MAC* e *PHY* foram intencionalmente definidas de modo a adaptarem-se aos diversos requisitos definidos pelos organismos reguladores mundiais, nomeadamente, atingir reduzido nível de complexidade nos nós e suportar múltiplos modos de gestão de recursos energéticos e capacidade espacial elevada.

3.5 . ZigBee – IEEE 802.15.4

O standard IEEE 802.15.4 especifica uma tecnologia de acesso sem fios, semelhante ao *Bluetooth*, numa versão onde o alvo principal são as redes pessoais (*PAN*) e as redes domésticas (*HAN*), de sensores e dispositivos, e onde os requisitos de consumo de energia e complexidade de implementação são a base do desenvolvimento.

A empresa *Philips* foi a primeira promotora da tecnologia *ZigBee*, então designada por *HomeRF Lite*, no ano de 1998. A tecnologia evoluiu e a agregação de novos colaboradores implicou a sucessiva alteração de nomenclatura desde *PURLnet*, *RF Lite*, *Firefly*, *RF Easy Link* até que, no ano de 2001, adoptou o nome de *ZigBee*.

O nome *ZigBee* provém da técnica que as abelhas utilizam para comunicar com outros membros de uma colmeia quando encontram fontes de alimento. Utilizando este sistema de comunicação, as abelhas movem-se num padrão *zig-zag* que permite partilhar com outras abelhas

a localização, distância e direcção das fontes de alimento descobertas [20].

Em 2000, o núcleo *ZigBee* associou-se ao grupo IEEE 802.15 para combinarem esforços para a criação de um novo standard para redes de sensores com comunicações sem fios. O IEEE criou então o grupo IEEE 802.15 TG4 [21], com o objectivo de desenvolver uma solução com baixas taxas de transmissão, elevada duração de bateria e complexidade reduzida.

Posteriormente em 2002, foi formada a aliança *ZigBee*, constituída pelas empresas *Philips*, *Motorola*, *Honeywell*, *Invensys* e *Mitsubishi Electric*, e cuja missão é definir, monitorizar e controlar produtos fiáveis, de baixo custo e de baixa potência completando o standard IEEE 802.15.4.

O principal objecto da aliança *ZigBee* é a especificação das camadas superiores (*Network*, *Aplicação* e o serviço de segurança entre elas) da pilha protocolar, desenvolvendo perfis de aplicação e execução de testes de conformidade e interoperacionalidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

O protocolo *ZigBee* opera nas bandas internacionais não licenciadas dos 2.4 GHz (global), 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa) [22]. As taxas de transmissão variam consoante a frequência utilizada: 250 Kbps nos 2.4 GHz (16 canais disponíveis), 40 Kbps nos 915 MHz (10 canais disponíveis) e 20 Kbps nos 868 MHz (1 canal disponível). As distâncias de transmissão variam entre os 10 e os 100 metros, consoante a potência do sinal de saída e as características do meio.

As principais características de uma rede *ZigBee* são o baixo consumo de energia, baixa complexidade da pilha protocolar, baixa latência e a possibilidade de estabelecimento de múltiplas topologias de rede, tais como a ponto-a-ponto, ponto-multiponto, *cluster tree* e *mesh*.

3.5.1 Arquitectura Protocolar

A pilha protocolar *ZigBee* baseia-se nas camadas do modelo OSI (*Open Systems Interconnections*). O standard desenvolvido pelo grupo de trabalho IEEE 802.15.4 define as camadas física e de controlo de acesso ao meio da tecnologia *ZigBee*. As restantes camadas (camada de rede e aplicação) são definidas pela aliança *ZigBee* (ver Figura 3.9).

Cada camada da pilha protocolar produz um conjunto específico de serviços para a camada que se encontra imediatamente acima. Cada entidade de serviço possui uma interface para a camada acima através do *Service Access Point* (SAP).

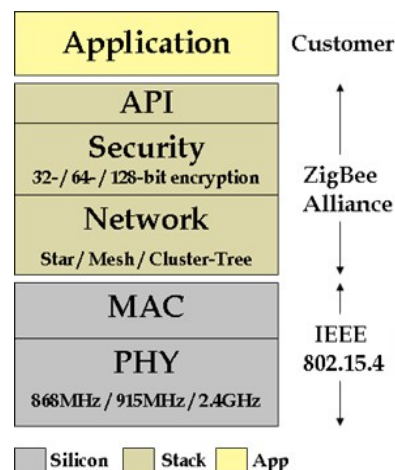


Figura 3.9: Pilha protocolar ZigBee

A camada de controlo de acesso ao meio (MAC: *Medium Access Control*) definida pela especificação IEEE 802.15.4 controla o acesso ao canal utilizando o mecanismo de CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). As suas funcionalidades também incluem a sincronização entre dispositivos e garantia de fiabilidade nas transmissões. Ao nível da camada

MAC definem-se dois dispositivos: FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*).

A camada de rede (NWK: *Network*) implementa mecanismos de associação/dissociação de elementos na rede e executa encaminhamento de mensagens até ao destinatário. A descoberta e manutenção das tabelas de encaminhamento é efectuada ao nível desta camada. Existem diferenças entre as camadas de rede dos diferentes dispositivos de uma rede ZigBee (*Coordinator*, *Routers* e *End Devices*).

A camada de aplicação é responsável pela manutenção das tabelas de *binding*, definição da quantidade de serviço entre dispositivos, determinação dos serviços de aplicação que este disponibiliza e descrição do ambiente no qual os objectos das aplicações desenvolvidas são armazenadas nos dispositivos ZigBee.

Nesta secção é efectuada uma breve descrição de cada uma destas camadas.

IEEE 802.15.4 - Camada Física

A camada PHY executa dois tipos de serviços: o *PHY Data Service* e o *PHY Management Service*.

O *PHY Data Service* permite a transmissão e recepção de dados através do canal físico rádio. As funcionalidades da camada PHY são:

- Activação/desactivação do transceptor rádio,
- Verificação da energia do canal (*Energy Detection*),
- Qualidade da ligação (*Link Quality Indication*),
- Selecção do canal de operação,
- Executar o mecanismo de *Clear Channel Assessment* (CCA).

O CCA é o processo que determina o corrente estado do canal em determinado instante [23]. As diferentes bandas de frequência possuem diferentes números de canais físicos assim como taxas de transmissão de dados. As frequências mais baixas (868 e 915 MHz) são mais apropriadas para transmissões de maior alcance devido às menores perdas na propagação. No entanto, a frequência mais elevada (2,4 GHz) permite maior taxa de transmissão e menor latência. Todas as bandas de frequências são baseados na técnica de espalhamento DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

A utilização de diversos canais nas diferentes bandas de frequência permite a realocação do canal dentro do mesmo espectro. A técnica de modulação diverge nas duas bandas de frequência, para 868/915 MHz é utilizada modulação *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK), enquanto para a banda de frequência de 2,4 GHz é usada a modulação *Offset Quadrature Phase-Shift Keying* (O-QPSK).

O mecanismo de DSSS consiste na divisão prévia dos dados em pequenos pacotes, em que cada um destes é alocado numa frequência ao longo do espectro. Os dados, no ponto de transmissão, são combinados com uma sequência de elevada taxa de transmissão (*chipping code*) que divide os dados de acordo com a taxa de dispersão do canal. A redundância do *chipping code* ajuda o sinal a resistir a interferências assim como permite que os dados originalmente transmitidos sejam recuperados mesmo que alguns *bits* tenham sido danificados.

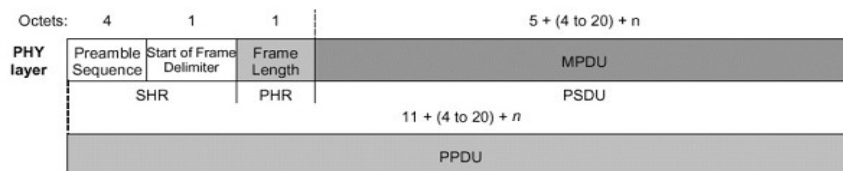


Figura 3.10: Estrutura de uma trama PPDU

A estrutura do *PHY Protocol Data Units* (PPDU) (Figura 3.10) possui um cabeçalho de sincronização (SHR: *Synchronization Header*), um cabeçalho da camada física (PHR: *physical header*) e o campo de dados (PSDU: *PHY Service Data Unit*). O SHR permite a sincronização do dispositivo de recepção e o PHR possui o restante tamanho da trama (PSDU).

IEEE 802.15.4 - Camada MAC

A camada MAC é responsável pela execução dos mecanismos de gestão do modo *beacon*, acesso ao canal físico, alocação de *slots* de comunicação, validação de tramas, entrega de *acknowledges*, associação e dissociação. Nesta camada são definidos dois tipos de dispositivos, FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*).

Os dispositivos FFD possuem todos os mecanismos definidos pela norma, enquanto os dispositivos RFD possuem menor complexidade, estando maioritariamente em modo de poupança de energia.

Existem dois modos de comunicação suportados pela camada MAC: *beacon* e *non beacon*. No modo *non beacon* todos os dispositivos concorrem pelo acesso ao meio utilizando o mecanismo de CSMA/CA.

No modo *beacon*, os diversos módulos encontram-se sincronizados com os *beacons* periódicos do *Coordinator*. Este modo permite a atribuição de *slots* temporais a diversos módulos, garantindo fiabilidade e baixa latência nas transmissões. O modo *beacon* utiliza ainda uma estrutura de *Superframe* de sincronismo de todos os elementos na rede. O modo *beacon* é caracterizado pelo envio periódico de uma trama com estrutura específica, designada por *Superframe*. A Figura 3.11 apresenta a estrutura de uma *Superframe*.

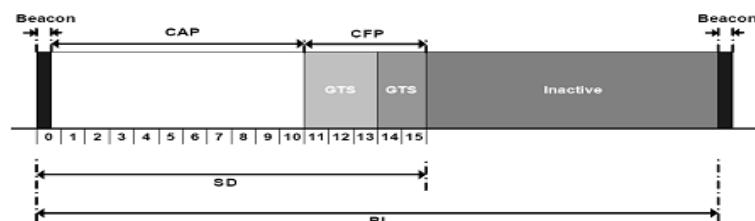


Figura 3.11: Estrutura Superframe

A inicialização desta estrutura é apenas efectuada pelo *Coordinator*. A estrutura é dividida em 16 *slots* temporais de igual período. O *beacon* de sincronização é enviado em primeiro lugar para que todos os dispositivos na rede se sincronizem com este. A porção activa contém o período de acesso com contenção (CAP: *Contention Access Period*) e o período livre de contenção (CFP: *Contention Free Period*). Durante o CAP, cada dispositivo que pretende aceder ao meio disputa-o através do mecanismo CSMA/CA. No período CFP, apenas os dispositivos que possuam um *Guaranteed Time Slots* (GTTs) alocado podem iniciar uma comunicação sem utilização de CSMA/CA.

A atribuição de GTTs apenas pode ser efectuada pelo *Coordinator*. A utilização dos GTTs permite a diminuição da latência e atribuição de largura de banda dedicada. Na porção inactiva os módulos entram em modo de poupança de energia.

Modelos de Transferência

A camada MAC define três modos de transferência de dados entre dispositivos:

- Do *coordinator* para outro dispositivo,
- De um dispositivo para um *coordinator*,
- Entre dois dispositivos.

O fluxo de transmissões depende da utilização ou não de *beacons* [23].

A Figura 3.12 apresenta uma comunicação de um módulo para o *Coordinator* em modo *beacon*.

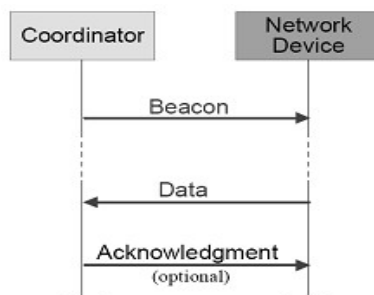


Figura 3.12: Comunicação para o *Coordinator* em modo *beacon*

O módulo aguarda a recepção do *beacon* e sincroniza-se com a estrutura *superframe*, enviando a trama de dados. Em modo *non beacon*, o *Network Device* não teria de aguardar a recepção do *beacon*, podendo efectuar a transmissão a qualquer instante.

Quando o *Coordinator* pretende enviar dados em modo *beacon* (ver Figura 3.13), este sinaliza a sua pretensão na mensagem de *beacon*.

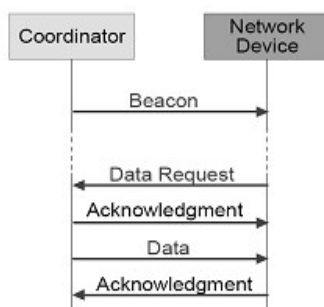


Figura 3.13: Comunicação do *Coordinator* para outro dispositivo

O dispositivo ao receber o *beacon* percebe que existem dados pendentes para lhe serem entregues. O dispositivo envia um *Data Request* ao *coordinator*. Os dados são então enviados para o dispositivo usando o mesmo mecanismo de acesso ao meio.

Para redes em modo *non beacon*, o envio de dados do *coordinator* para um dispositivo é semelhante, sem que o dispositivo tenha de aguardar por sincronização.

Em redes *peer-to-peer*, cada dispositivo pode comunicar com qualquer outro na sua esfera de interferência sem que tenha de comunicar com o *coordinator*. Existem duas possibilidades de transmissão de dados: o dispositivo transmite os dados através de mecanismo CSMA/CA ou executam um processo de sincronismo um com o outro de forma a poupar energia.

Estrutura da trama MAC

O formato *MAC Protocol Data Unit* (MPDU) possui três campos, o *MAC Header* (MHR), o *MAC Service Data Unit* (MSDU) e o *MAC footer* (MFR). Cada um dos referidos campos pode possuir outros sub campos.

No MHR existe o campo *Frame control* que especifica o tipo de conteúdo da restante trama. Os tipos de trama são trama de dados, trama de *acknowledge*, trama de *beacon* e trama de comando. Os outros campos do MHR são o *Data Sequence Number* e o *Address Information*, estes permitem a identificação da mensagem com o respectivo *acknowledge* e o endereço do módulo de destino.

O campo MSDU define os campos de dados usados pelas camadas de mais alto nível. O MAC footer é composto pelo *Frame Check Sequence* (FCS) que valida a integridade da trama.

A Figura 3.14 ilustra cada um dos campos de uma trama MAC.



Figura 3.14: Formato de trama da camada MAC

IEEE 802.15.4 - Camada de rede (NWK)

Na camada *Network* (NWK) são implementadas as topologias de rede, os mecanismos de associação/dissociação e o encaminhamento de tramas.

Os dispositivos FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*) definidos pelo protocolo IEEE 802.15.4 permitem o desenvolvimento de três diferentes dispositivos *ZigBee*:

- *Coordinator*,
- *Routers*,
- *End Devices*.

As camadas NWK dos três possíveis dispositivos diferem entre si.

A Tabela 3.1 [24] apresenta as funcionalidades da camada NWK de cada dispositivo *ZigBee*.

Funcionalidades	Coordinator	Router	End Device
Estabelecimento de nova rede ZigBee	X		
Atribuição de endereços de rede (16 bits)	X	X	
Permissões para que outros dispositivos se associem à rede	X	X	
Manutenção de listas de vizinhos e rotas	X	X	
Reencaminhamento de pacotes de camada NWK	X	X	
Transferência de pacotes de camada NWK	X	X	X
Associação/Dissociação de uma rede	X	X	X

Tabela 3.1: Funcionalidades da camada NWK para diferentes dispositivos *ZigBee*

Topologias de rede

A camada de rede *ZigBee* suporta três topologias de rede: *Star*, *Cluster tree* e *Mesh*.

As diferentes topologias disponibilizam diferentes serviços para diferentes tipos de aplicação. Uma rede *ZigBee* pode porém possuir as três topologias integradas.

A topologia *star*, é a topologia mais simples, e consiste num grupo de nós (tipicamente *End Devices*) que apenas comunicam com o seu parente, que pode ser um *Router* ou *Coordinator*.

A Figura 3.15 apresenta a topologia *Star*.

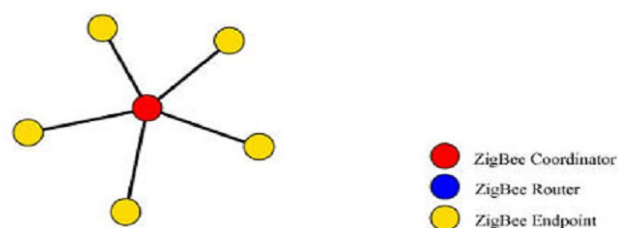


Figura 3.15: Topologia *Star*

Esta topologia possui vantagens em aplicações de baixa latência e consumo, pois os *End Devices* podem estar em modo de poupança de energia grande parte do tempo. A desvantagem da utilização da topologia *star* deve-se à limitação da extensão máxima da rede ser de dois saltos (*hops*) entre dois *End Devices*. Para além disso, nesta topologia a fiabilidade é baixa, pois não podem existir caminhos alternativos em caso de falha do parente.

A topologia de rede *Cluster tree* (Figura 3.16) é constituída por uma árvore de múltiplos saltos entre comunicações de diferentes dispositivos.

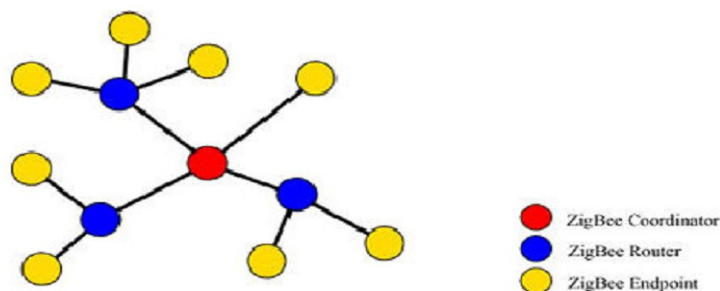


Figura 3.16: Topologia Cluster Tree

Este é um caso especial de uma rede ponto a ponto, onde a maioria dos dispositivos são FFDs e um dispositivo RFD pode ligar-se no final de um ramo. Qualquer FFD pode agir como um *coordinator* e prover serviços de sincronização para outros dispositivos e *coordinators*.

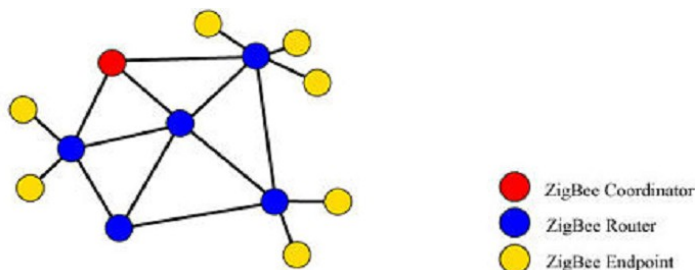


Figura 3.17: Topologia Mesh

A Figura 3.17 apresenta a topologia *Mesh*.

Uma rede do tipo *Mesh* permite a existência de múltiplos caminhos entre dois dispositivos *ZigBee*, aumentando a fiabilidade da comunicação.

Os *routers* nesta topologia podem proceder à descoberta e caracterização de caminhos alternativos disponíveis e seleccionar o melhor. A desvantagem da utilização desta topologia relaciona-se com o elevado consumo de energia dos módulos, pois os *routers* têm de estar constantemente ligados. Nesta topologia, a latência é difícil de estimar.

Arquitectura

A arquitectura da camada NWK executa dois tipos de serviços: *NWK Data Service* (NLDE: *Network Layer Data Entity*) e *NWK Management Service* (NLME: *Network Layer Management Entity*) acedidos através de dois SAPs (*Service Access Points*) pelas camadas superiores.

O NLDE executa os serviços de dados que permitem a transferência de dados entre dois ou mais dispositivos. Este bloco cria o NPDU (*Network Packet Data Unit*) e o protocolo de *routing* específico da topologia, permitindo a transmissão do NPDU ao seu destinatário. O NLDE assegura a autenticidade e confidencialidade da transmissão.

A gestão dos serviços da camada NWK permitem a uma aplicação interagir com a pilha protocolar *ZigBee*, assegurada pelo bloco NLME. Este bloco pode inicializar nova rede, associar ou

dissociar-se de uma rede existente, atribuir endereços de rede, descobrir, registar e partilhar informações dos módulos vizinhos e descobrir/manter informações acerca dos caminhos de rede.

Espaço de endereçamento

A especificação IEEE 802.15.4 utiliza um endereço único de 64 bits para cada módulo de rádio. Este endereço é utilizado nas comunicações *peer-to-peer* quando a rede não está estabelecida.

A partir do momento em que a rede é estabelecida, o identificador de 64 bits é substituído por um identificador de 16 bits de modo a reduzir o *overhead* dos pacotes transmitidos

Atribuição de endereços de rede

Durante o processo de associação de um dispositivo a uma rede *ZigBee*, é atribuído ao novo dispositivo um endereço de rede lógico.

Os endereços de rede são atribuídos pelo *Coordinator* ou pelos *Routers* usando um algoritmo estruturado em árvore. A estrutura da rede é definida por uma entidade designada por *stack profile*.

A *stack profile* inclui a definição da profundidade máxima da rede (*maximum network depth*), número máximo de filhos routers (*maximum number of child routers*) e número máximo de filhos (*maximum number of children*). A Figura 3.18 apresenta os parâmetros que definem a forma de rede.

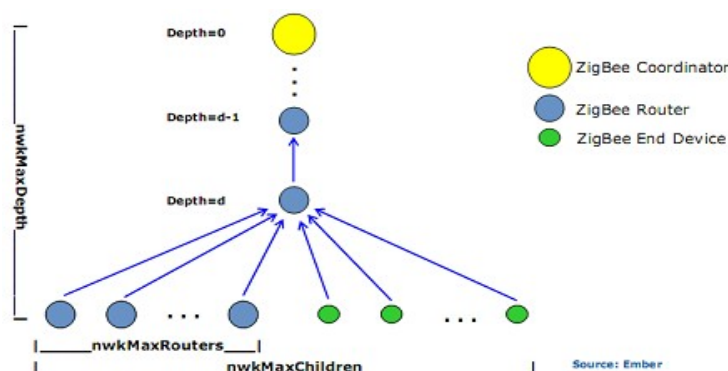


Figura 3.18: Parâmetros máximos do número de nós em ZigBee

O *maximum network depth* define o número máximo de saltos entre o *Coordinator* e qualquer outro dispositivo. O *maximum number of child routers* e *children* definem o número máximo de *routers* e filhos em geral (*Routers* ou *End Devices*) que se podem associar a um *Router* ou ao *Coordinator*.

IEEE 802.15.4 – Camada aplicação (AL)

A camada de aplicação da tecnologia *ZigBee* é constituída internamente por três blocos, o *Application Support Sublayer* (ALSS), o *ZigBee Device Object* (ZDO) e o *Application framework* (ALF).

O bloco ALSS define uma interface entre a camada NWK e a restante camada AL garantindo um conjunto de serviços usados pelo ZDO e pela ALF. O bloco ALSS mantém as tabelas de *binding*. Estas tabelas definem a capacidade de combinação de dois dispositivos baseados nos mesmos serviços: encaminhar pacotes entre dispositivos associados, definir grupos de endereços e filtrar pacotes de grupos de endereços.

Os objectos são alojados na *Application Framework* da pilha protocolar *ZigBee*.

Na ALF, os objectos definidos pelos fabricantes executam as funções de controlo e gestão das camadas do protocolo *ZigBee* assim como inicialização das funções de rede através das interfaces

públicas do ZDO. O ZDO representa a classe básica de funcionamento que permite a interface entre os objectos da aplicação, o perfil de utilização e a ALSS. É também responsável pela inicialização do ALSS, da camada NWK e o provedor de serviços de segurança (*Security Service Provider*) assim como agrega as informações de configuração da aplicação final de forma a determinar e implementar descoberta, gestão de segurança, gestão da rede e gestão de *binding*.

Perfis

A tecnologia *ZigBee* implementa um conjunto de serviços definidos pelos perfis de aplicação. Os perfis de aplicação são geridos ao nível da camada aplicação (AL: *Application*).

Do ponto de vista da protecção de dados, a noção de perfil é semelhante à programação por objectos. Os dispositivos *ZigBee* são modelados utilizando objectos de aplicação que comunicam com outros dispositivos trocando os objectos e atributos do perfil em que estão inseridos. Deste modo é garantida a interoperabilidade de dispositivos desenvolvidos por diferentes empresas[24].

Existem diversos perfis públicos que podem ser definidos e certificados pela aliança *ZigBee*, que podem ser utilizados pelos membros da aliança no desenvolvimento de soluções interoperacionais. Cada perfil possui um diferente identificador atribuído pela aliança *ZigBee*. Existem ainda perfis privados cuja utilização pretende ser exclusiva dos fabricantes.

Na tabela 3.2 estão descritos alguns perfis que estão actualmente a ser desenvolvidos pela aliança *ZigBee*.

Nome	Descrição
Infra-estrutura de metrologia avançada	Aplicações de medição de dados e gestão de energia por forma a garantir uma utilização de energia mais eficiente
Cuidados pessoais, de habitações e hospitais	Aplicações de exercício físico pessoal, equipamentos médicos ou hospitalares para monitorização da saúde e bem estar.
Automação comercial para edifícios	Aplicações no domínio comercial, industrial e institucional para controlo, gestão e monitorização de edifícios.
Aplicações de redes de sensores sem fios	Permite obter um ambiente de monitorização, tracking de produtos e monitorização de estruturas.

Tabela 3.2: Perfis em desenvolvimento

Actualmente, o protocolo *ZigBee* [53] define perfis públicos para iluminação, aplicações para HVAC (*Heating, Ventilating, and Air-Conditioning*), sensores industriais e automatização de habitações (domótica). As empresas que desenvolvem produtos com base no protocolo *ZigBee* podem optar por utilizar os perfis públicos ou desenvolver os seus próprios perfis.

3.6 . Comparação entre as diversas tecnologias analisadas

De forma a obter uma comparação resumida entre as diferentes tecnologias analisadas, nesta secção será feita uma breve análise às tecnologias abordadas neste capítulo, principalmente no que diz respeito a: recursos do sistema, tamanho da rede, raio de transmissão, aplicações e largura de banda.

Nas tecnologias sem fios em estudo verifica-se que, no que ao nível de raio de alcance diz respeito, é a tecnologia *Wi-Fi* que apresenta valores mais elevados.

Na Figura 3.19 é ilustrado o raio de alcance e a taxa de transmissão de diversas tecnologias sem fios.

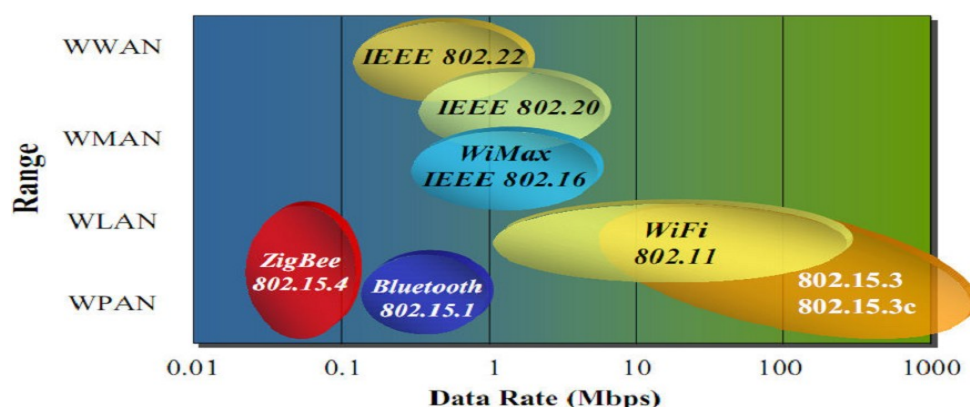


Figura 3.19: Representação gráfica da Taxa de Transferência de Dados vs Alcance

Ao nível das velocidades de transmissão, é a tecnologia UWB que apresenta valores mais elevados, e em oposto a tecnologia ZigBee apresenta uma velocidade mais reduzida.

A Tabela 3.3 apresenta um quadro comparativo entre as diversas tecnologias analisadas.

Especificação	Recursos do sistema	Principais aplicações	Duração da bateria (dias)	Tamanho da rede	Largura de Banda (KB/s)	Vantagens
<i>Bluetooth</i> (classe 2) 802.15.1	250 Kb+	Substituição de soluções cabladas	1 a 7	7	720	Interoperabilidade, substituição de cabos
<i>Wi-Fi</i> 802.11b/g	1Mb+	Vídeo, Internet	0.5 a 5	32	11000+	Elevada taxa de transferências
<i>UWB</i> 802.15.3	Baixo	Transmissão de vídeo e áudio	Elevada	-	480000	Baixo consumo e largura de banda baixa
<i>ZigBee</i> 802.15.4	4 a 32 Kb	Monitorização e controlo	100 a 1000+	2 ⁶	20 a 250	Consumo, Latência, nº de nós, fiabilidade e custo

Tabela 3.3: Comparação entre as diferentes tecnologias

O UWB é uma tecnologia que surgiu recentemente na indústria da electrónica de consumo. No entanto as característica que apresenta, como a grande largura de banda e o baixo consumo energético, tornam esta tecnologia como uma das mais promissoras no futuro.

3.7. Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas as tecnologias sem fios mais utilizadas actualmente. Foi feita uma breve descrição da arquitectura protocolar, bem como da arquitectura de rede e dos componentes que constituem cada um dos protocolos. Foi também efectuada uma análise comparativa entre as diversas tecnologias.

Capítulo 4

Sistema de domótica, B-LIVE

4.1 . Introdução

No presente capítulo será apresentado o sistema de domótica *B-Live* [25].

O *B-Live* é o resultado do trabalho desenvolvido dentro do projecto DoRe (Domótica para Reabilitação), do núcleo de I&D da Micro I/O, criado no âmbito do programa NITEC.

Foi desenvolvido conjuntamente pela Micro I/O e pelo DETI/UA - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, no âmbito de um protocolo entre estas entidades e o Centro de Medicina de Reabilitação da Região Centro - Rovisco Pais (CMRRC-RP).



Figura 4.1: Enquadramento do B-Live[26]

É uma solução de domótica inovadora destinada à adaptação de casas convencionais, permitindo que pessoas com graves limitações funcionais, por exemplo tetraplégicos, possam controlar com autonomia ainda que limitada algumas funcionalidades da sua habitação (acesso, iluminação, operação de dispositivos). Com este sistema pretende-se, portanto, tornar essas pessoas suficientemente autónomos de forma a que não seja necessário permanecer junto deles um acompanhante.

4.2 . Descrição geral

Nesta secção será feita uma breve descrição do sistema *B-Live*.

O *B-Live* é um sistema domótico modular, destinado a permitir a sua operação por pessoas com graves limitações funcionais, podendo adaptar-se a um conjunto diverso de situações.

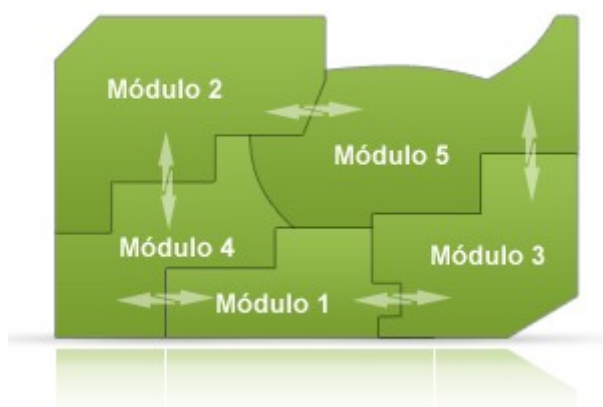


Figura 4.2: B-Live, sistema modular[26]

O *B-Live* apresenta-se desde logo, e associado à sua modularidade, como um sistema de baixo custo, capaz de ser instalado em habitações já existentes, não necessitando da sua adaptação de raiz. Tendo em conta o carácter evolutivo e modular do *B-Live*, é possível a sua aquisição faseada e muito fácil a sua integração com novos produtos e/ou serviços.

Desenvolvido a pensar nos cidadãos com graves limitações funcionais, tetra e paraplégicos, cegos e idosos, o *B-Live* pretende contribuir de forma significativa para o aumento da autonomia e independência desses cidadãos. Desta forma, aumenta a sua auto-estima e melhora a sua qualidade de vida. Com o aumento da autonomia destes cidadãos, vem também uma maior autonomia e liberdade para os cuidadores.

4.3 . Interfaces

Nesta secção são apresentadas as interfaces disponibilizadas pelo *B-Live*.

Devido às limitações que os destinatários do *B-Live* apresentam, as interfaces Humano-máquina disponíveis para operar sobre o sistema são de extrema importância.



Figura 4.3: Interfaces Humano-Máquina[26].

Por tratar-se de um público alvo com características muito próprias e específicas, uma interface desenvolvida de acordo com as limitações de um paraplégico, poderá não ser utilizável por um outro paraplégico que possua limitações impeditivas de utilizar essa mesma interface.

Importa portanto analisar caso a caso, e verificar se as interfaces disponibilizadas pelo sistema se adequam ao destinatário.

Nesse sentido foram desenvolvias diversas interfaces baseadas em diversas tecnologias.

4.3.1 Computador



Figura 4.4: Computador

Esta interface apresenta-se como uma das mais simples. Para controlar o sistema *B-Live* utilizando esta interface o utilizador apenas tem que seleccionar, num menu, o botão correspondente ao dispositivo a controlar e a respectiva operação.

4.3.2 Telemóvel



Figura 4.5: Telemóvel

No telemóvel existe uma aplicação *Java* que disponibiliza um menu de opções e o utilizador pressionando as teclas pode navegar entre menus e seleccionar o dispositivo a controlar.

4.3.3 *IntegraSwitch* (interruptor de boca com sopro e sucção) e *IntegraMouse* (rato de boca)



Figura 4.6: *IntegraMouse* e *IntegraSwitch*

Estas interfaces foram desenvolvidas para pessoas com graves limitações funcionais.

O *IntegraMouse* é em termos de funcionalidades semelhante a um rato convencional para computador. No entanto este opera através da boca. O utilizador através dos lábios controla o movimento e com o sopro simula os botões. Desta forma o utilizador pode operar o menu do computador disponibilizado pela interface computador.

No *IntegraSwitch* do ar (expiração ou inspiração) simula os botões do controlo remoto interactivo.

4.3.4 Interface feita por medida



Figura 4.7: Interface cadeira

A interface cadeira é uma interface feita por medida para utilizadores que, por força das suas limitações, não consigam utilizar qualquer das outras interfaces disponibilizadas.

Esta interface consiste num interruptor de elevada sensibilidade com comunicação por rádio frequência, e foi desenvolvido para pessoas que apresentem mobilidade muito reduzida.

4.3.5 Reconhecimento de fala

Esta interface permite ao utilizador controlar o sistema através de comandos como: “abrir a porta da frente”, ou “fechar a porta da frente”.

4.3.6 Interruptores convencionais



Figura 4.8: Interruptor convencional

Os dispositivos do sistema *B-Live* podem ser controlados por um simples interruptor convencional. Esta interface pode ser utilizada por pessoas com menor grau de limitações ou até mesmo pelos cuidadores/acompanhantes destes.

4.4 . Funcionalidades

Nesta secção são descritas as funcionalidades disponibilizadas pelo sistema.

As funcionalidades disponibilizadas, actualmente, pelo sistema *B-Live* enquadram-se em dois grandes grupos: Controlo de ambiente e Controlo de dispositivos.

Ao nível do controlo de ambientes é possível operar sobre a iluminação, os estores e as portas. Quanto aos dispositivos, podem ser controlados aquecedores, ventoinhas e o autoclismo.

O carácter modular do sistema *B-Live*, permite adicionar novas funcionalidades de acordo com as necessidades dos utilizadores e evolução do produto.

O módulo dispensador de comida é disso um exemplo. Este módulo foi desenvolvido no âmbito deste projecto e será apresentado no capítulo seguinte.

4.4.1 Iluminação



Figura 4.9: Iluminação[27]

Os dispositivos responsáveis pela iluminação podem ser controlados localmente, através dos interruptores locais, ou remotamente utilizando outros interruptores associados a estes dispositivos.

4.4.2 Acessos



Figura 4.10: Acessos[27]

Os acessos permitem o movimento de pessoas na habitação. São constituídos pelas portas entre divisões e pela porta principal. As portas entre divisões podem ser operadas por um interruptor local.

4.4.3 Higiene



Figura 4.11: Higiene[27]

É possível controlar o autoclismo, efectuando descargas de água utilizando um interruptor sem contacto, ou um interruptor convencional.

4.4.4 Controlo de Potência



Figura 4.12: Controlo de Potência[27]

A operação sobre tomadas permite efectuar um controlo do tipo ligar ou desligar, sobre equipamentos eléctricos (aquecedores, ventiladores, etc.) que se encontrem ligados a estas.

4.5 . Arquitectura do sistema

Uma das principais características do sistema *B-Live* é a modularidade (ver Figura 4.13).

Nesta secção será descrita a arquitectura dos módulos do sistema *B-Live*.

Cada um dos módulos pode funcionar *per si*, ou em conjunto com os restantes. Para o efeito existe uma rede de comunicação entre todos os módulos do sistema.

A introdução de novas funcionalidades no sistema, é desta forma, reduzida à simples operação de introduzir um ou mais módulos, e não depende em nada do funcionamento anterior do sistema.

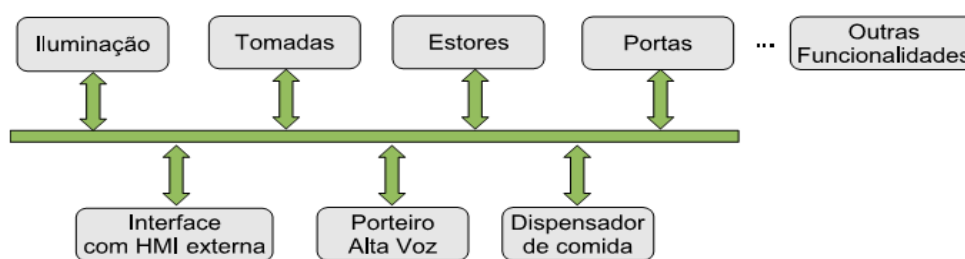


Figura 4.13: Arquitectura do sistema[28]

O sistema está dotado de várias interfaces de modo a comunicar com o exterior, as quais podem funcionar em simultâneo. O sistema, no que às funcionalidades diz respeito, pode receber comandos provenientes de várias interfaces distintas. Estas interfaces podem ser HMI's ou outra qualquer interface como por exemplo um alarme activado por um sensor.

A Figura 4.14 ilustra a interacção dos sistema *B-Live* com o exterior.

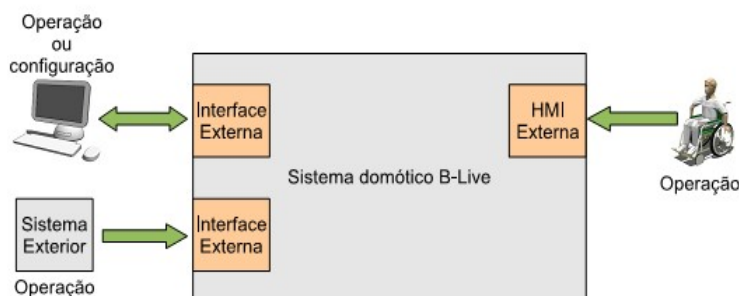


Figura 4.14: Interacção do sistema B-Live com o exterior[28]

4.5.1 Arquitectura dos módulos

Tal como já referido anteriormente, o sistema *B-Live* é um sistema composto por diversos módulos.

Cada módulo tem duas entradas convencionais, para actuadores manuais (por exemplo interruptores), e quatro saídas, para actuar sobre os diferentes dispositivos que estão a ser controlados pelo módulo. Os módulos podem também receber e/ou enviar comandos através de um barramento.

A Figura 4.15 apresenta a arquitectura dos módulos *B-Live*.

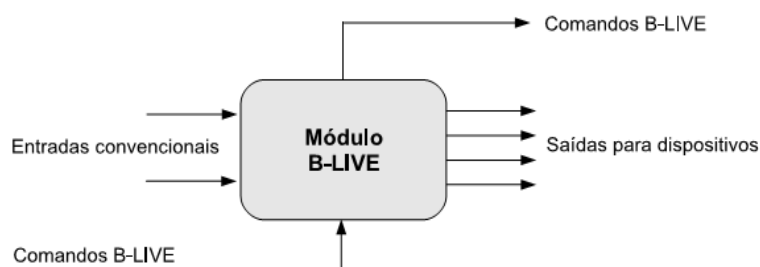


Figura 4.15: Arquitectura dos módulos *B-Live*

A customização dos módulos depende apenas da placa de potência ou adaptação especializada.

A Figura 4.16 ilustra a arquitectura interna dos módulos.

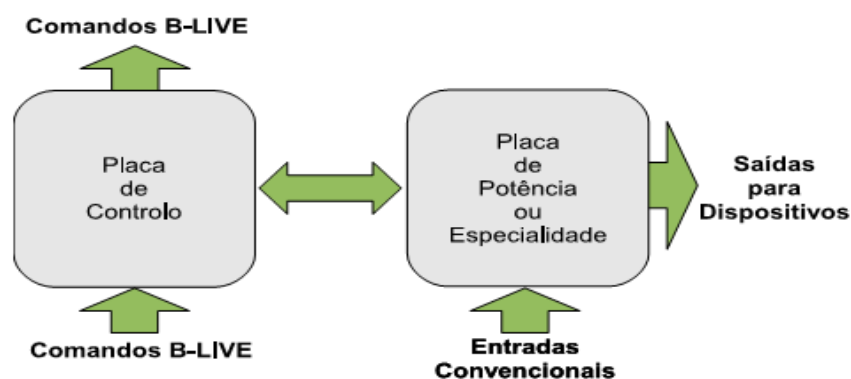


Figura 4.16: Arquitectura interna dos módulos

4.6 . Protocolo de comunicações

O sistema *B-Live* está dotado de um rede de comunicação que interliga todos os módulos.

Nesta secção é apresentado o protocolo de comunicações utilizado pelo *B-Live*.

Actualmente essa rede de comunicação é constituída pelo CAN (*Controller Area Network*). Para comunicar com o exterior o *B-Live* utiliza a linha série (RS232).

4.6.1 Estrutura de dados

O sistema domótico *B-Live* permite que os diversos módulos que o compõem troquem informação entre si. Para tal é necessário que a informação esteja organizada, tendo sido criada uma estrutura de dados específica [28].

A estrutura de dados utilizada tem os seguintes campos:

- **IDMsg**
Este campo identifica (internamente ao módulo) a proveniência ou o destino da mensagem (8 bit),

- **IDSrc**
Este campo permite identificar o produtor da mensagem (11 bits),
- **L**
Este campo indica o tamanho do campo de dados (8 bits),
- **Dados**
Campo de dados (*array* de bytes).

Estas estruturas de dados estão armazenadas em FIFOs.

4.6.2 Estrutura de mensagens

Actualmente os módulos podem trocar informação entre si, utilizando CAN ou linha série (RS232) [28].

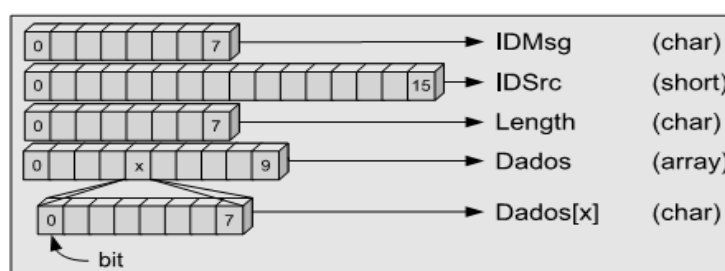


Figura 4.17: Estrutura de dados B-Live

Consequentemente, existem diferentes estruturas de dados (FIFO, CAN e Linha Série) de acordo com o suporte de comunicação utilizado.

FIFO

As camadas de software utilizam um FIFO para comunicar entre si. A Figura 4.18 apresenta a estrutura das mensagens FIFO.



Figura 4.18: Estrutura das mensagens FIFO

O significado dos campos da estrutura apresentada foi referido na secção 4.6.1.

CAN

As tramas CAN trocadas no sistema são representadas na Figura 4.19.



Figura 4.19: Estrutura das tramas CAN

O significado dos campos de uma trama CAN é o seguinte [28]:

- **IDSrc**
Este campo identifica o módulo produtor,
- **L**
Este campo indica o tamanho do campo de dados,
- **D0 a D7**
Dados da trama CAN.

Linha Série

A Figura 4.20 representa a estrutura das mensagens trocadas pela Linha Série.



Figura 4.20: Estrutura das mensagens RS232

Cada um dos campos da mensagem tem 8 bits. O significado dos campos é o seguinte [28]:

- **%**
Este campo indica o início da mensagem,
- **IDSrcH**
Este campo identifica o módulo (3 bits mais significativos encostados à direita),
- **IDSrcL**
Identificação do módulo,
- **L**
Tamanho do campo de dados,
- **D0 a D7**
Dados da mensagem,
- **CRC**
Checksum,
- **#**
Este campo indica o fim da mensagem

4.6.3 Tipos de mensagens

A informação contida na estrutura de dados *B-Live* é utilizada para construção das mensagens que são trocadas entre os módulos. Estas mensagens podem ser de 3 tipos [28]:

- Configuração,
- Modificação,
- Operação.

Quando as mensagens trocadas pelos módulos são mensagens de configuração ou de modificação, os campos de dados das tramas têm o seguinte significado:

- **Dados[0]** – Comando,
- **Dados[1]** - Tipo de módulo,
- **Dados[2] a Dados[5]** - Identificação dos dispositivos conforme o tipo de módulo.

A informação correspondente à configuração dos módulos é guardada em memória, segundo a disposição representada na Figura 4.21.

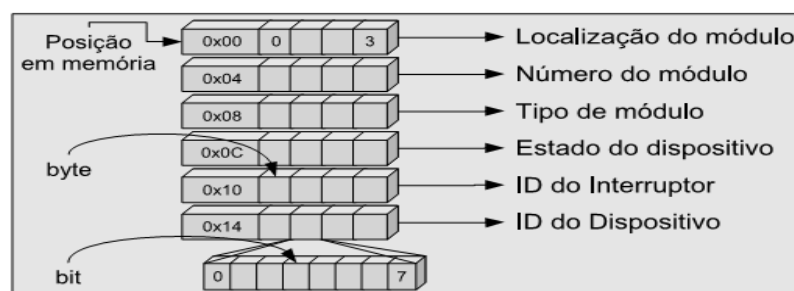


Figura 4.21: Disposição dos dados de configuração em memória

Para cada um dos diferentes campos de configuração são reservados 4 *bytes*, que podem ser utilizados ou não. No campo Estado do dispositivo pode ser guardado, se necessário o estado de um determinado dispositivo.

Quando se trata de mensagens de operação, os campos de dados têm o seguinte significado:

- **Dados[0]** - Comando de operação,
- **Dados[1]** - Identificador do dispositivo,
- **Dados[2]** - Estado do dispositivo quando o evento foi gerado (se necessário),
- **Dados[3]** - Ordem do dispositivo no módulo (se necessário).

4.6.4 Comandos

No sistema *B-Live* existem diversos comandos que permitem operar sobre os módulos e os dispositivos que lhes estão associados [28].

A Tabela 4.1 apresenta os comandos disponíveis, o seu significado e as respectivas funcionalidades.

Comando	Significado	Funcionalidades
C	Configuração	Permite configurar os módulos: número e localização, tipo de dispositivo a controlar, dispositivos associados e suas configurações
M	Modificação	Permite alterar/configurar os dispositivos controlados pelos módulos
O	On/Open	Activa um dispositivo
F	Off/Fecho	Desactiva o dispositivo
A	Alteração de estado	Altera o estado actual de um dispositivo
S	Leitura de estado	Envia para a rede a configuração do módulo
R	Resposta ao PC	Envia para o módulo que faz a interface com o PC a configuração do módulo
D	Debug	Permite verificar erros no código

Tabela 4.1: Comandos e seu significado

4.7. Conclusão

Neste capítulo foi apresentado o sistema de domótica *B-Live* para pessoas com graves limitações funcionais. Trata-se de um sistema modular, de baixo custo e que utiliza técnicas de *retrofitting*.

Foram apresentadas as interfaces disponibilizadas pelo sistema, as funcionalidades que o sistema possui, a arquitectura do sistema, e o protocolo de comunicações.

Capítulo 5

Contribuições para a evolução do B-Live

5.1 . Introdução

O recurso às tecnologias deve ser visto como uma forma de melhorar a vida de todos aqueles que dela têm possibilidade de usufruir, nomeadamente os que se encontram incapacitados de realizar tarefas básicas. A pensar nesse grupo da sociedade, desenvolveu-se um módulo inovador que permite a pessoas com graves limitações funcionais obterem alguma autonomia. Com o dispensador de comida estas pessoas podem, através das interfaces disponibilizadas pelo *B-Live*, obter alimentos e/ou bebidas sem ajuda directa de terceiros.

Tendo em consideração os potenciais utilizadores do *B-Live*, as interfaces disponibilizadas devem ser o mais simplificadas possível, por forma a facilitar a sua utilização. Apesar de se tratar de um nível abstracto para os utilizadores, sentiu-se a necessidade de simplificar a interface telemóvel tornando-a independente de um computador, desde logo pela redução de custos associados ao sistema.

Neste capítulo serão apresentadas as contribuições, desenvolvidas no âmbito deste trabalho, para a evolução do sistema de domótica *B-Live*.

Será apresentada a simplificação da interface por telemóvel, onde é feita a descrição da arquitectura desenvolvida bem como o princípio de operação. Será também apresentado o desenvolvimento do módulo Dispensador de Comida, sendo descrita a arquitectura deste módulo, o método de selecção dos produtos, e o método de funcionamento.

5.2 . Simplificação da Interface por Telemóvel

Uma das interfaces disponibilizadas pelo sistema domótico *B-Live* é a interface telemóvel, que pela sua simplicidade de utilização e mobilidade pode ser umas das preferidas por muitos utilizadores do *B-Live*.

Esta interface, já anteriormente a este projecto era disponibilizada pelo sistema, no entanto era dependente de um computador. Assim nesta secção, é apresentada a simplificação desta interface.

O princípio de operação da solução aqui apresentada é em tudo semelhante à solução anterior. No entanto, na arquitectura aqui apresentada a substituição de um computador (arquitectura anterior) por um módulo *Bluetooth* (arquitectura desenvolvida), permite diminuir a complexidade desta interface.

5.2.1 Arquitectura anterior

Anteriormente, para comunicação com os módulos *B-Live* através desta interface era necessário ter um computador a realizar um *gateway*. A função do computador neste interface restringia-se a receber as mensagens enviadas pelo telemóvel (*Bluetooth*), e enviá-las via porta série para os módulos correspondentes do sistema.

Para a comunicação entre o telemóvel e o computador utiliza-se a tecnologia sem fios *Bluetooth*, sendo a ligação estabelecida pelo processo de emparelhamento de dispositivos.

A comunicação entre o computador e o sistema *B-Live* é por linha série. A Figura 5.1 ilustra a arquitectura anterior desta interface.



Figura 5.1: Arquitectura inicial da interface telemóvel

A presença de um computador na utilização desta interface é de todo um aspecto a corrigir, pois trata-se de um componente que apresenta custos consideráveis comparativamente aos restantes componentes do *B-Live*, e a sua função nesta arquitectura pode ser substituída por um dispositivo de menor dimensões e mais baixo custo.

Nesse sentido foi estudada e desenvolvida uma solução onde se pretende substituir o computador por um dispositivo *Bluetooth*.

5.2.2 Arquitectura desenvolvida

Aqui apresenta-se a arquitectura desenvolvida para a interface telemóvel. Nesta arquitectura o computador é substituído por um módulo *Bluetooth*.

A Figura 5.2 apresenta a arquitectura dessa mesma solução desenvolvida.

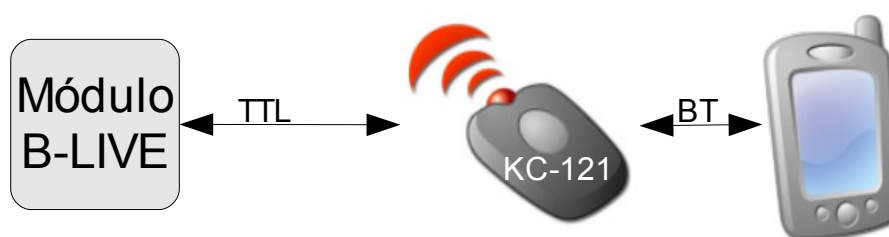


Figura 5.2: Arquitectura desenvolvida para a interface telemóvel

A arquitectura desta solução é semelhante à arquitectura da versão anterior, isto é, o número de dispositivos necessários para implementar esta interface é o mesmo, no entanto a substituição do computador por este módulo *Bluetooth*, no caso o KC-121 da *KcWirefree*, permite uma redução de custos do sistema e ainda uma simplificação relevante na interface por telemóvel.

De referir que esta interface permite operar todas as funcionalidades do sistema *B-Live*.

5.2.3 Princípio de operação

O princípio de funcionamento da interface por telemóvel baseada nesta arquitectura é bastante simples, o que é um factor determinante tendo em consideração os potenciais utilizadores.

O telemóvel disponibiliza um menu (aplicação desenvolvida em Java) que permite, através das teclas numéricas do telemóvel, navegar entre menus e sub-menus e seleccionar a funcionalidade pretendida.

O telemóvel envia uma mensagem utilizando a tecnologia *Bluetooth* para o módulo KC-121, onde a mensagem é convertida em RS232 e enviada para o módulo *B-Live* correspondente.

A Figura 5.3 ilustra o menu *B-Live* da interface Telemóvel que permite operar sobre as diversas funcionalidades do sistema *B-Live*.

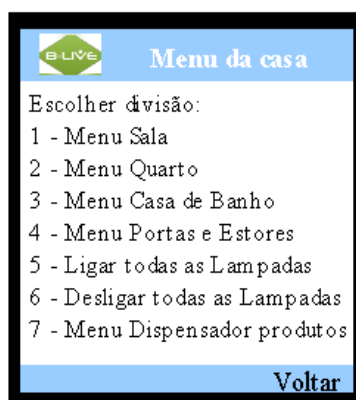


Figura 5.3: Menu *B-Live* no telemóvel

Seleccionando qualquer umas das opções disponíveis neste menu, é apresentado um sub-menu (nos casos 1, 2, 3, 4, e 7). As opções 5 e 6 permitem, tal como indicado no menu, operar sobre a iluminação. Ao seleccionar a opção 7 no menu da casa é apresentado o menu que permite operar sobre o dispensador de comida.



Figura 5.4: Sub-menu Dispensador de produtos

A Figura 5.4 ilustra o sub-menu para o dispensador de produtos.

Este sub-menu disponibiliza 5 opções, sendo quatro delas (1, 2, 3 e 4) para operar sobre o dispensador e a 5ª opção permite ao utilizador voltar ao menu principal, onde poderá seleccionar outras funcionalidades do sistema.

Ao pressionar a tecla 1 (selecção do Produto 1), por exemplo, é enviado um comando para o módulo Dispensador de Comida que irá desencadear uma série de operações para dispensar o Produto 1.

5.3 . Desenvolvimento de um sistema de apoio à alimentação de pacientes

O dispensador de comida permite que pessoas com graves limitações funcionais possam ter alguma autonomia no que diz respeito à sua alimentação. Este sistema é útil pois permite que estas pessoas não estejam permanentemente dependentes de um acompanhante, facilitando também a vida a este último. Assim quando um acompanhante necessita de se ausentar por motivos diversos, como ir às compras, apenas necessita de abastecer o dispensador de comida com os alimentos que desejar. O dispensador de comida será dotado de um suporte na parte superior onde é possível colocar gelo de modo a manter a frescura dos alimentos/bebidas durante aproximadamente 4 horas.

O dispensador de comida aqui descrito é em tudo semelhante às tradicionais máquinas de *vending*. A principal diferença é a interface com o utilizador que, para pessoas com graves limitações funcionais, deve ser naturalmente de fácil utilização.

5.3.1 Descrição geral

Sempre que a pessoa com limitações funcionais pretender adquirir qualquer um dos produtos disponíveis, apenas tem de proceder à sua selecção, e o sistema irá fornecer-lhe esse produto. A selecção do produto é efectuada de uma forma muito simples e adequada à situação dos utilizadores. Assim para seleccionar um produto, o utilizador tem à sua disposição várias interfaces que poderá utilizar mediante as suas capacidades físicas e motoras.

O dispensador de comida permite disponibilizar até 4 produtos. Através das interfaces do sistema *B-Live* e com o auxílio de um código de iluminação presente no dispensador, é possível proceder à abertura/fecho da porta do dispensador e à selecção do produto pretendido.

5.3.2 Método de funcionamento

O dispensador de comida foi projectado tendo em consideração que o público-alvo são pessoas com graves limitações funcionais, colocando-lhes á disposição variados produtos alimentares de uma forma bastante simples do ponto de vista do utilizador.

Sempre que um utilizador pretenda obter qualquer um dos produtos disponíveis, apenas necessita de proceder à sua selecção, sendo o restante processo de fornecimento do produto, desenvolvido de forma autónoma pelo sistema.

Assim para seleccionar um produto, o utilizador tem à sua disposição diversas interfaces, cada uma delas colmatando diversas deficiências motoras.

O dispensador de comida é constituído por uma estrutura de vidro na parte frontal (gaveta) (ver Figura 5.5), ligada a um motor DC, que abre sempre que é escolhido um produto.



Figura 5.5: Dispensador de comida

Como o dispensador disponibiliza até quatro produtos, tem quatro espirais contendo cada espiral um determinado produto, e ligadas cada uma delas a um motor DC que, quando accionado, as fará rodar empurrando o produto na direcção da abertura.

A abertura da porta do dispensador é feita de forma autónoma pelo sistema, isto é, sempre que é enviado um comando para dispensar um produto, o sistema abre a porta e dispensa o produto seleccionado.

O fecho da porta, por razões de segurança dos utilizadores, é efectuado por acção do utilizador. Assim, depois de dispensado o produto, o utilizador, para proceder ao fecho da porta, deve repetir o comando anterior. Por exemplo se seleccionou o Produto 1 para ser dispensado, para fechar a porta deve novamente seleccionar Produto 1 para fechar a porta.

A rampa metálica com calhas ilustrada na figura 5.5 permite dispensar os produtos de uma forma mais controlada, isto é, apesar de os produtos serem lançados em queda livre, com esta estrutura é possível controlar determinados movimentos indesejáveis. Por exemplo, para um sumo de pacote (produto 1, considerando a figura 5.5) é desejável que este produto fique disponível para o utilizador na posição vertical, permitindo que, com um sistema adicional (uma palha específica, por exemplo), o utilizador possa beber o sumo sem necessidade de o retirar da estrutura. Esta característica trará enorme vantagens a pessoas com movimentos extremamente reduzidos, incapazes de levar alimento à boca.

5.3.3 Selecção dos produtos

A selecção do produto é feita através de um código de iluminação presente no dispensador. Este código de iluminação é basicamente um conjunto de quatro *Leds* colocados na parte superior frontal do dispensador (cada um correspondente a cada produto). Quando o produto correspondente é seleccionado pelo utilizador, o *Led* correspondente ao produto desejado é ligado. O *Led* mais à esquerda do dispensador indica o estado do dispensador, isto é, quando activo indica que o dispensador de comida está operacional.



Figura 5.6: Led's de apoio à selecção dos produtos

Os ensaios realizados com o dispensador de comida foram efectuados utilizando a interface telemóvel e a interface computador. No entanto o dispensador de comida pode ser operado utilizando qualquer das interfaces disponibilizadas pelo sistema *B-Live*.

5.3.4 Arquitectura do sistema

O dispensador segue a modularidade do sistema *B-Live*. A figura 5.7 apresenta a arquitectura do sistema.

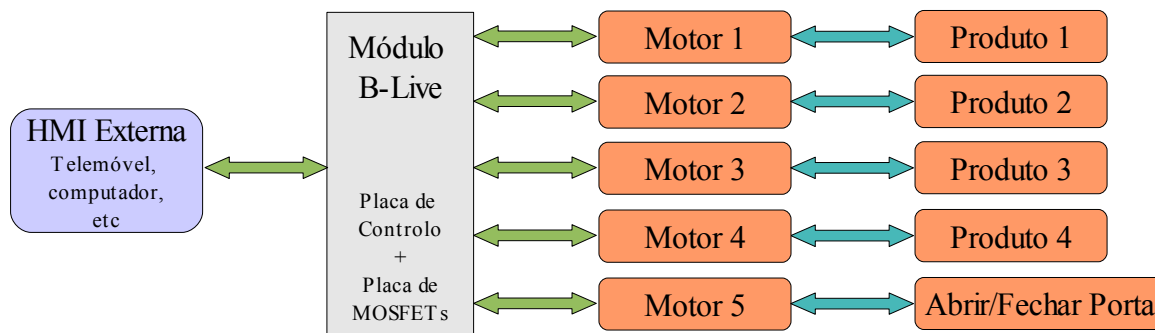


Figura 5.7: Arquitectura do módulo dispensador de comida

Cada motor permite dispensar um produto. Tal como acima referido, ao fazer rodar a espiral o produto correspondente será dispensado.

O motor identificado na Figura 5.7 como Motor 5 permite abrir e fechar a porta do dispensador de comida. Este motor tem acoplada uma estrutura metálica que, através de um parafuso sem fim ligado ao veio do motor, abre e fecha a porta, consoante o sentido de rotação do Motor 5.

Esta modularidade permite acrescentar novos motores de modo a disponibilizar uma maior quantidade de produtos. A introdução de novos motores no dispensador de comida é, desta forma, reduzida à simples operação de introduzir um ou mais motores, e não depende em nada do funcionamento anterior do sistema.

5.4 . Ensaios e avaliação de desempenho

Nesta secção apresentam-se os resultados dos ensaios realizados à interface telemóvel e ao módulo dispensador de comida, e a avaliação de desempenho dos mesmos.

Foram realizados ensaios de operação com o dispensador de comida, utilizando numa fase inicial o computador como interface, e posteriormente a interface telemóvel simplificada. Foram também realizados ensaios às comunicações sem fios utilizadas com vista a avaliar o seu desempenho, nomeadamente a taxa de sucesso de comandos enviados do telemóvel para o módulo *Bluetooth*.

A realização de diversos ensaios visa avaliar o desempenho e ajustar determinados parâmetros no funcionamento do dispensador de comida, e otimizar o desempenho da interface por telemóvel.

Para a interface telemóvel foram realizados ensaios em cenários de rede de comunicação sem fios estando presentes Wi-Fi e ZigBee.

5.4.1 Ensaio à comunicação entre : Telemóvel - módulo KC-121

Na comunicação entre o telemóvel e o módulo KC-121 é utilizada a tecnologia 802.15.1. Importa portanto avaliar o desempenho desta tecnologia na operação do dispensador de comida.

Após ligar a alimentação do módulo *Bluetooth* KC-121, é necessário executar a aplicação **B-Live** no telemóvel e despoletar uma procura de dispositivos *Bluetooth*. É então obtida uma lista de todos os dispositivos *Bluetooth* no alcance do telemóvel. Deve-se então seleccionar o dispositivo *mBT08002* (Identificador pré-definido do módulo *Bluetooth* KC-121). Quando a aplicação do telemóvel envia informação para o módulo KC-121, é possível através da porta série, visualizar no PC essa informação.

A Figura 5.8 apresenta o esquema de ligações seguindo neste ensaio.

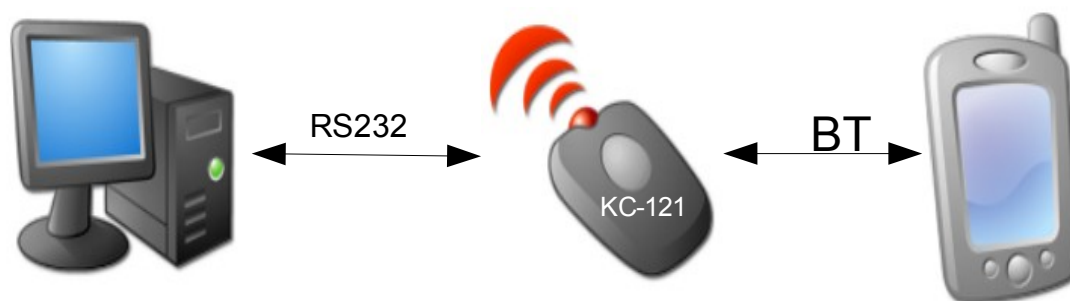


Figura 5.8: Esquema de ligação do ensaio realizado

Taxa de sucesso das comunicações

O ensaio realizado permite determinar a taxa de sucesso nas comunicações sem fios entre o telemóvel e módulo *Bluetooth* KC-121.

Este processo consiste no envio de 20 comandos de operação sucessivos do telemóvel para o módulo KC-121. Para determinar a taxa de sucesso, foi estabelecida conexão via RS232 entre o módulo KC-121 e o computador (ver Figura 5.8) possibilitando assim receber no PC, via porta série, todas as mensagens recebidas pelo módulo KC-121.

Neste ensaio verificou-se que todos os comandos enviados foram recebidos com sucesso pelo módulo, determinando assim uma taxa de sucesso nas comunicações sem fios de 100%, isto é, todos os comandos enviados, do telemóvel para o módulo *Bluetooth* KC-121, por *Bluetooth* foram recebidos com sucesso.

5.4.2 Ensaios e avaliação de desempenho do dispensador de comida

O dispensador de comida foi desenvolvido com o objectivo de dotar o sistema de domótica *B-Live* de uma funcionalidade que, tal como as restantes funcionalidades que disponibiliza, permita aumentar a autonomia de pessoas com graves limitações funcionais. Este sistema permite que estas pessoas obtenham alimentos/bebidas de uma forma autónoma.

Ensaio realizado em cenário real

Um dos ensaios ao dispensador de comida foi realizado em ambiente real, no Centro de Medicina de Reabilitação da Região Centro – Rovisco Pais. O dispensador foi testado por um paciente desta instituição.

Este ensaio permitiu identificar algumas lacunas do protótipo inerentes a dificuldades específicas de pessoas com limitações funcionais.

A forma como os alimentos são fornecidos aos utilizadores deve ser controlada, contrariamente ao que acontece nas tradicionais máquinas de *vending*, onde os alimentos são largados em queda livre, caindo de uma forma totalmente aleatória numa “gaveta” de onde depois são retirados pelo consumidor.

No caso do dispensador de comida, os alimentos, mas principalmente as bebidas, devem ficar, de forma controlada, disponíveis para os utilizadores. Nesse sentido foi adicionado ao protótipo inicial uma estrutura em forma de rampa com divisórias que permite a condução dos alimentos e bebidas de uma forma controlada até à base dessa estrutura.

A Figura 5.9 ilustra o dispensador dotado dessa mesma estrutura.



Figura 5.9: Dispensador com rampa

Nos ensaios realizados com esta estrutura adicional foram seleccionados diversos produtos como garrafas de água de 25 cl, sumos de pacote, sandes ou chocolates. Estes produtos eram então seleccionados, pela interface telemóvel e dispensados.

Verificou-se então que, após serem empurrados pelas espirais, caíam na divisão respectiva e no caso das bebidas de pacote estas ficavam na vertical, permitindo assim que pessoas com mobilidade extremamente reduzida possam através de uma palha, por exemplo, beber o sumo directamente da estrutura, necessitando apenas de se aproximarem do aparelho. No caso das garrafas de água, por terem forma arredondada, estas em alguns ensaios não ficavam na posição devida, e em algumas situações caíam da rampa. Assim uma das soluções para resolução deste

problema será colocar a água em recipientes devidamente ajustados.

Quando à comida, verificou-se que ao ser empurrada caía na rampa e ficava disponível na base da estrutura para o utilizador.

Saliente-se ainda o facto de a posição ideal para colocar os alimentos e/ou bebidas no dispensador é com estes inclinados um pouco para trás, de forma a que sejam sempre empurrados pela base ao longo das espirais.

5.5 . Conclusão

O desenvolvimento de uma solução independente do computador para a interface por telemóvel apresenta importantes vantagens comparativamente à solução anteriormente implementada. A redução do custo do sistema e a simplicidade de utilização revelam-se factores importantes em sistemas deste tipo. A substituição do computador pelo módulo *Bluetooth*, segue a linha da inovação na actualidade, nomeadamente a integração de sistemas e a redução das dimensões dos componentes e dispositivos. Esta interface apresenta-se como uma interface *user-friendly*, e a facilidade de utilização potencia a sua adopção em muitas situações de incapacidade.

O módulo dispensador de comida segue a linha de desenvolvimento do *B-Live*, quer na modularidade que o caracteriza, como na sua simplicidade de utilização. Esta funcionalidade permite que pessoas com graves limitações funcionais adquiram alguma independência e autonomia na aquisição de alimento.

Capítulo 6

Soluções para a interface e para o dispensador

6.1 . Introdução

Neste capítulo apresentam-se as soluções adoptadas para a implementação da interface por telemóvel independente do computador e para o controlo dos motores do dispensador de comida.

São analisadas diversas soluções existentes no mercado, bem como estudado o desenvolvimento de soluções próprias.

6.2 . Soluções comerciais para módulo *Bluetooth*

Esta secção apresenta algumas das soluções existentes no mercado para implementação do módulo *Bluetooth*. São descritas as suas principais características, custos e fabricantes.

6.2.1 *F2M Bluetooth*



Figura 6.1: Módulo *Bluetooth* F2M

As principais características deste módulo são [29]:

- *Bluetooth* 2.0, CE e FCC,
- Alcance até 150m,
- Potência de transmissão até +7dBm,
- 12 linhas PIO ,12 botões, 12 LEDs,
- Interface SPDIF, RS-232 e USB.

O preço deste módulo ronda os 325 €.

O módulo OEM F2M02GLA-S01-K tem o custo de 54,4€ [30].

6.2.2 *Promi-ESD™ Class 1 OEM Bluetooth Module*



Figura 6.2: Módulo Bluetooth *Promi-ESD™ Class 1*

Este módulo *Bluetooth* pode ser utilizado em aplicações *embedded*. É de fácil instalação e o seu custo ronda os 123€. As principais características deste módulo são [31]:

- Interface RS232,
- *Bluetooth Specification* v1.1,
- Potência de transmissão, classe 1 (max 18dBm),
- Sinal de recepção de -84 até -20dBm.

O custo do módulo OEM é de 46€ [32].

6.2.3 Módulo *Bluetooth* KC-121



Figura 6.3: Módulo Bluetooth KC-121

O módulo KC-21 apresenta como principais características [33]:

- Elevado desempenho em ligações até 20m,
- Elevada segurança com encriptação de 128 bits,
- Taxa de transferência de dados até 921Kbps,
- Permite ligações ponto-a-ponto e ponto-multiponto,
- Opções de bateria e alimentação AC (VDD = 3.3V),
- Suporta SPP.

O custo do módulo KC-121 é de 52€.

6.2.4 HAC-LEN



Figura 6.4: Módulo Bluetooth HAC-LEN

Este módulo *Bluetooth* apresenta como principais características[34]:

- Potência de transmissão 500mW ou 800mW;
- Frequência 433MHz;
- Elevada sensibilidade de recepção (-118dBm@1200bps),
- Distância de transmissão elevada,
- Transmissão de dados transparente,
- Ligações ponto-a-ponto e ponto-multi ponto.

O custo deste módulo é 46€.

6.2.5 Análise das várias soluções analisadas

Numa breve análise às soluções propostas, todas são aplicáveis aos objectivos definidos. No entanto, o módulo KC-121 da *KC Wirefree*, pelas suas características, apresenta-se como uma boa solução, pela facilidade de configuração e utilização, e revela-se adequado para distintas aplicações.

As soluções descritas apresentam custos na ordem dos 50€. A escolha recaiu no módulo KC-121, pois este já tinha sido adquirido pela Micro I/O.

Desta forma, o módulo utilizado para a comunicação entre o sistema *B-Live* e o telemóvel é o módulo *Bluetooth* KC-121. Uma análise mais pormenorizada deste módulo será efectuada mais adiante. Com a introdução deste módulo *Bluetooth* KC-121, a comunicação entre o módulo *B-Live* e o telemóvel passa a ser independente do PC.

6.2.6 Custos de desenvolvimento do módulo KC-121

Aqui pretende-se fazer um levantamento dos custos de desenvolvimento de um módulo. O módulo *Bluetooth* KC-121 é composto por um módulo *Bluetooth* KC-21 e uma interface RS232.

Deste modo, para o desenvolvimento de um módulo, são necessários os seguintes componentes:

- módulo *Bluetooth* KC-21,
- RS232 Transceiver (MAX 3225E),
- 4 condensadores de 0.1 μ F, 1 condensador de 4,7 μ F,
- 1 ficha DB9.

O módulo KC-21 apresenta um custo de 29€ [35]. Já o MAX3225E tem o custo unitário de 5,30 € para encomendas de 1 a 24 unidades, 3,70€ para encomendas de 25 a 99 unidades [36]. Uma ficha DB9 tem um custo de 0,20€ [37]. Quanto aos condensadores apresentam um custo que ronda os 0.50€ [38]. O desenvolvimento de uma solução própria apresenta um custo de 35 €.

6.3 . Módulo *Bluetooth* KC-121

O módulo *Bluetooth* KC-121 é uma solução completa, que permite ligações fidedignas, utilizando a tecnologia sem fios *Bluetooth* [39].

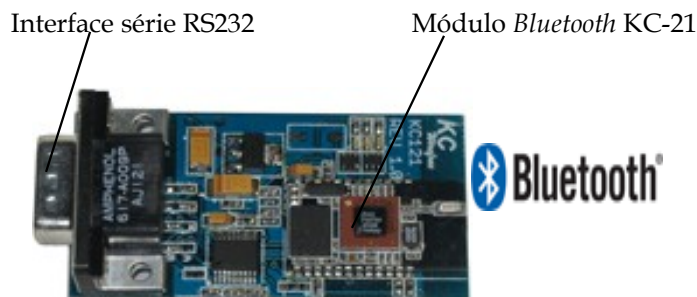


Figura 6.5: Módulo *Bluetooth* KC-121

Na Figura 6.5, é possível visualizar o módulo *Bluetooth* KC-121, desenvolvido pela empresa *KC Wirefree*. Este módulo é composto por um módulo *Bluetooth* KC-21 e uma interface série RS232.

Este módulo foi projectado de forma a disponibilizar elevada flexibilidade. Inclui 14 linhas de *input/output* e permite comunicações RS232 com velocidades elevadas até 921Kbps.

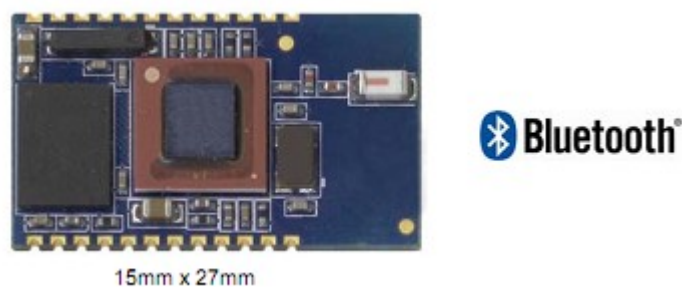


Figura 6.6: Módulo *Bluetooth* KC-21

O módulo KC-21, apresentado na Figura 6.6, é implementado em PCB e está preparado para utilizar a tecnologia *Bluetooth*.

O módulo KC-21 apresenta como principais características [40]:

- Elevado desempenho em ligações até 20m,
- Elevada segurança com encriptação de 128 bits,
- Taxa de transferência de dados até 921Kbps,
- Permite ligações ponto-a-ponto e ponto-multiponto,
- Opções de bateria e alimentação AC (VDD = 3.3V),
- Suporta SPP (Serial Port Profile).

Na Figura 6.7 é apresentado o esquema eléctrico da interface série RS232 do módulo KC-121.

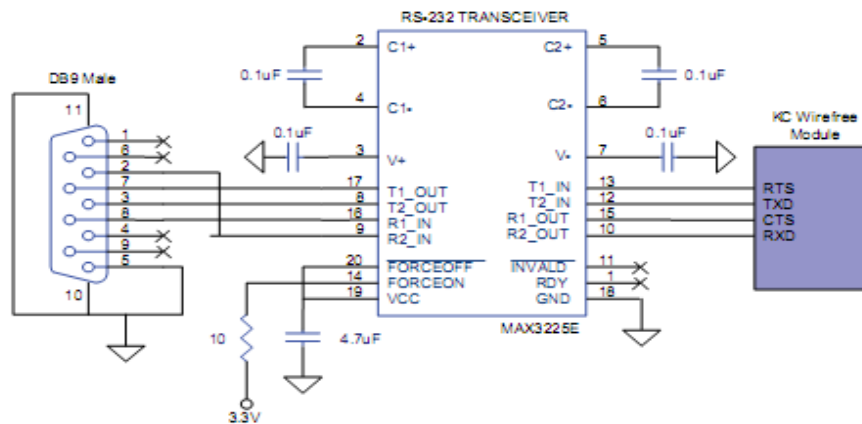


Figura 6.7: Esquema eléctrico da interface RS232

Através desta interface, estão acessíveis quatro sinais. Os pinos TXD e RXD são utilizados para dados enquanto que os pinos CTS e RTS são usados para controlo de fluxo.

Os pinos RX e TX da USART são indispensáveis para a programação dos dispositivos e transmissão de dados, no entanto os pinos de controlo de fluxo (RTS e CTS) não são necessários na programação dos dispositivos a 115Kbps, mas são requeridos quando a taxa de transmissão é 921Kbps.

Os módulos *Bluetooth* KC-21 suportam ainda duas outras interfaces, interface GPIO e interface SPI.

Os módulos KC-21 vêm pré-configurados de fábrica com *firmware* (KcSerial), que permite a utilização do dispositivo *Bluetooth*, sem qualquer *device driver* adicional (programa computacional de alto nível necessário para criar uma interface com o periférico).

Este *firmware* disponibiliza as seguintes funcionalidades:

- ligação ponto-a-ponto,
- Perfil SPP,
- Perfil DUN (Dial-up Networking),
- Modos *Command* e *Bypass* - é possível alternar entre os modos *Command* e *Bypass*, durante uma ligação activa,
- Segurança - processo de ligação e encriptação de dados fornece segurança entre dois dispositivos,
- Ligação a múltiplos dispositivos - as chaves especiais de segurança podem ser trocadas com múltiplos dispositivos de modo a permitir que diferentes dispositivos se liguem de forma segura, embora não seja permitido fazê-lo em simultâneo,
- Conservação de potência - utilização das características *park*, *sniff* e *hold* para minimizar o consumo,
- Variadas taxas de transmissão - a porta série pode ser configurada com as seguintes taxas de transmissão: 9600 bps, 19.2 Kbps, 38.4 Kbps, 57.6 Kbps, 115.2 Kbps (*default*), 230.4 Kbps, 460.8 Kbps e 921.6 Kbps.

Os módulos *bluetooth* KC-121 vêm pré-configurados de fábrica com:

- baud rate - **115200 bps**,
- data bits - **8**,
- parity - **none**,
- stop bits - **1**,

- flow control – **Hardware**,
- Nome – **KcWirefree**.

6.3.1 Modos de operação

Os módulos *Bluetooth* KC-121 podem operar em dois modos distintos, o modo *Command* e o modo *Bypass*.

- **Command Mode** – Neste modo de operação é possível proceder à configuração dos módulos *Bluetooth* KC-121.
- **Bypass Mode** – Este modo de operação é utilizado para receber e transmitir dados entre os dispositivos e o módulo *Bluetooth*.

■ *Command Mode*

Neste caso, o *host* (PC, considerando a Figura 6.8) envia tramas construídas de forma específica, designadas comandos. Estes comandos podem ser usados para configuração ou gestão de uma ligação com um dispositivo.

Quando opera no modo *Command*, o módulo envia pela interface série mensagens para o *host*, de resposta aos comandos recebidos. O mesmo sucede quando é efectuado um *reset* ao sistema. Note-se que estas respostas não são enviadas para o *host* quando a aplicação opera no modo *Bypass*.

Modo de configuração

De modo a proceder à configuração dos módulos *Bluetooth* KC-121 é necessário estabelecer comunicação por RS232 entre o módulo KC-121 e o PC.

Na Figura 6.8 está ilustrado o esquema de ligação que deve ser seguido de modo a permitir a configuração dos módulos KC-121.

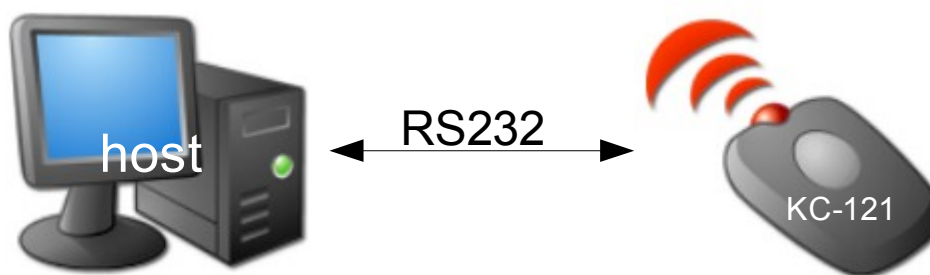


Figura 6.8: Esquema de ligação para configuração dos módulos KC-121

Neste ensaio ligou-se o módulo *Bluetooth* KC-121, através da interface série RS232, à porta série do PC. Para isso utilizou-se um adaptador “*null modem*”.

Por forma a estabelecer uma comunicação, conforme representado na Figura 6.8, é necessário cumprir o seguinte método:

1. Inicialmente é necessário colocar o *Dipswitch* 1(ver Figura 6.9) a ON (*Enable Streaming*), levando a que desta forma as linhas CTS e RTS sejam ignoradas pela USART, sendo a taxa máxima de transmissão limitada a 115 Kbps.



Figura 6.9: Dipswitchs do módulo KC-121

Dipswitch1
(controlo de fluxo)

Dipswitch2
(não utilizado)

Dipswitch3
(não utilizado)

Dipswitch4
(não utilizado)

Dipswitch1:

- ON = Enable Streaming;
- OFF = Disable Streaming.

2. Deve-se ligar à porta série do módulo *Bluetooth* KC-121 um cabo “null modem” (Figura 6.10). De seguida liga-se a outra extremidade do cabo à porta série do PC. Seguidamente liga-se a alimentação do módulo (6VDC) e quando este passo estiver concluído o LED2 deve ligar.

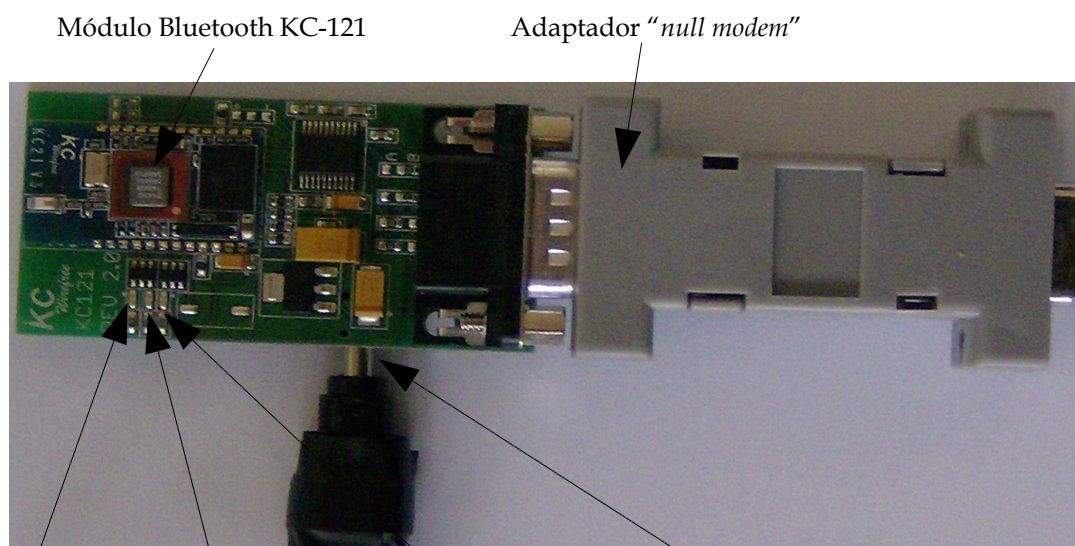


Figura 6.10: Ligação RS232 do módulo Bluetooth KC-121 ao PC

LED1
(não utilizado)

LED2
(indica alimentação)

LED3
(indica conectividade)

Vcc (6VDC)

Na Figura 6.11 está representada a ligação dos pinos da USART com os pinos de uma porta série de um *host*, um PC por exemplo. É necessário utilizar um cabo “*null modem*” para a ligação, pois os pinos RXD, TXD, CTS e RTS na extremidade A do cabo devem ser ligados aos pinos TXD, RXD, RTS e CTS, respectivamente, na extremidade B do cabo.

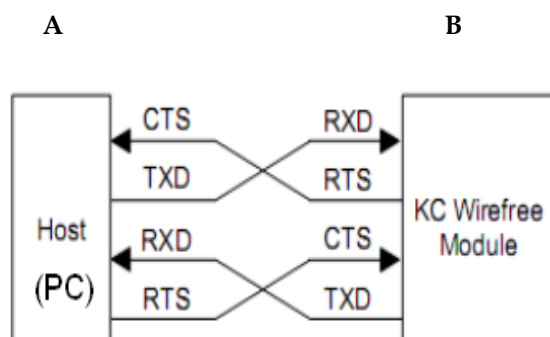


Figura 6.11: Esquema de ligação da USART

3. Utilizando uma aplicação que permita estabelecer uma comunicação série RS232, por exemplo o *HyperTerminal*, o *Docklight*, ou outro, estabelece-se uma ligação com as seguintes configurações:

- *Baud Rate* **115200 bps**
- *Data bits* **8**
- *Stop bits* **1**
- *Flow control* **nenhum**

Note-se que o parâmetro *Flow control* deve ser alterado para **nenhum**, visto que para comunicação com a placa PICMIO (placa de controlo) apenas são utilizadas as linha TX e RX.

Após a ligação estar estabelecida, o módulo inicia em modo *Command*, e responde com:

```
AT-ZV -CommandMode-  
AT-ZV BDAAddress 00043e238bbd  
_
```

Figura 6.12: Resposta do módulo KC-121 ao iniciar

Nesta fase a ligação entre o módulo *Bluetooth* KC-121 e o PC está estabelecida, podendo de seguida proceder à configuração dos módulos através dos comandos AT.

Por forma a facilitar a utilização destes comandos e do *HyperTerminal* que foi a aplicação utilizada, recomenda-se a utilização de *scripts* pré-escritos com os comandos AT utilizados. Todas as linhas de comandos devem começar com AT, permitindo assim ao módulo identificar os comandos que se seguem.

Os *scripts* acima referidos são ficheiros de texto (.txt) que facilmente se criam. Por exemplo, no ambiente de trabalho clique no botão direito do rato e seleccione **novo > documento de texto**.

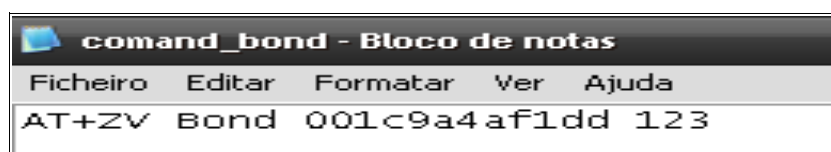


Figura 6.13: Script com o comando Bond

No final de cada linha de comando deve introduzir-se *enter*, para que o comando seja enviado.

Um exemplo da utilização e envio de um *script* é apresentado a seguir:



Figura 6.14: Utilização de um script

Comandos de configuração

A Tabela 6.1 contém os comandos AT utilizados no processo de configuração dos módulos *Bluetooth* KC-121 [41]. Estes comandos são detalhados nesta secção, bem como as respostas nos casos de sucesso ou insucesso.

Comando AT	Função	Resposta em caso de sucesso	Resposta em caso de insucesso
AT+ZV ChangeDefaultBaud [rate]	Alterar a taxa de transmissão	AT-ZV Baudrate Changed	-----
AT+ZV DefaultLocalName [name]	Alterar o nome	AT-ZV LocalNameOk	-----
AT+ZV Bond [BD addr] [PIN]	Estabelece ligação	AT-ZV BondOk	AT-ZV BondFail

Tabela 6.1: Lista de comandos AT utilizados

O Anexo A contém uma tabela com todos os comandos AT suportados pelo módulo KC-121.

● **Comando *ChangeDefaultBaud***

O módulo *Bluetooth* KC-121 vem configurado de fábrica, com *Baud Rate* 115200bps, mas como a comunicação com a placa PICMIO é feita a 19200bps, é necessário alterar o *Baud Rate* para 19200bps. Por forma a que a taxa de transmissão, sempre que é reiniciado o módulo, permaneça no valor pretendido (19200bps no caso), deve-se utilizar este comando em detrimento do comando *ChangeBaud*.

O comando AT utilizado para efectuar esta alteração é:

AT+ZV ChangeDefaultBaud [rate]

Onde o parâmetro [rate] pode tomar os valores:

- 9600,
- 19200 (neste caso, deve-se utilizar este valor),
- 38400,
- 57600,
- 115200,
- 460800,
- 921600.

O *script* utilizado para envio deste comando consta no Anexo B. Caso a alteração seja efectuada com sucesso, a resposta é:

AT-ZV Baudrate Changed

Sempre que o módulo é reiniciado a taxa de transmissão da comunicação é 19200bps.

- **Comando *DefaultLocalName***

Tal como referido anteriormente, o módulo *Bluetooth* KC-121 vem pré-configurado com nome *KcWirefree*. Assim, e tendo em conta que o nome que identifica o módulo, quando é detectado por um dispositivo, é bastante importante, é recomendado alterar o nome do módulo.

Nesse sentido, o nome escolhido para cada módulo deve seguir a terminologia seguinte:

mBTAAAnnn

onde:

- **mBT** corresponde ao nome da placa,
- **AA** corresponde ao ano de produção,
- e **nnn** é o número identificador de cada módulo, que vai sendo incrementado de 000 até 999.

O comando AT utilizado para efectuar esta alteração é:

AT+ZV DefaultLocalName [name]

onde [name] deve ser **mBTAAAnnn**, tal como definido acima.

Caso a alteração seja efectuada com sucesso, a resposta é:

AT-ZV LocalNameOk

O *script* utilizado para envio deste comando consta no Anexo C.

Desta forma, quando há um processo de procura de dispositivos *Bluetooth*, o módulo 2 é identificado por *mBT08002*, por exemplo.

- **Comando *Bond***

Este comando é usado para iniciar uma ligação com um dispositivo específico. Na sintaxe deste comando é requerida a introdução de um PIN.

A sintaxe deste comando é:

AT+ZV Bond [BD addr] [PIN]

onde:

- [BD addr] é o *BD address* do dispositivo com o qual se pretende estabelecer a ligação,
- [PIN] é o número de identificação associado.

Caso o pedido de ligação seja submetido com sucesso, a resposta é:

AT-ZV BondPending [BD addr]

Nesta fase é necessário introduzir o PIN no dispositivo que possui o *BD address* indicado.

Se a operação de ligação for efectuada com sucesso, a resposta é:

AT-ZV BondOk

caso contrário, a resposta é:

AT-ZV BondFail

O *script* utilizado para envio deste comando consta no Anexo D.

■ ***Bypass Mode***

Quando a conexão com o dispositivo está estabelecida, a aplicação transita para o modo *Bypass*. Neste modo de operação, os *bytes* enviados pelo *host* são enviados através da ligação *Bluetooth* para o dispositivo, e os dados recebidos do dispositivo são entregues ao *host*.

Quando a conexão é estabelecida, o LED 3 liga (ver Figura 6.10), indicando conectividade, e a resposta é:

AT-ZV ConnectionUp AT-ZV BypassMode

Todos os bytes recebidos na USART do *host* são transferidos para o dispositivo, à excepção de uma determinada sequência, designada *Escape Sequence*. A denominada *Escape Sequence* é composta pelos seguintes caracteres: `^#^$^%`, que consiste numa sequência que indica à aplicação para esta transitar para o modo *Command*. Quando o módulo *Bluetooth* está no modo *Bypass* e é enviada a *Escape Sequence*, isto é, a conexão ainda está activa, o *host* aguarda 2 segundos antes da aplicação passar para o modo *Command*. Enquanto a aplicação está a operar no modo *Bypass*, a interface série do módulo fica permanentemente à espera de detectar a *Escape Sequence* enviada pelo *host*. Quando é detectada esta sequência, a aplicação volta a operar no *Command Mode*.

Tal permite que os comandos sejam emitidos novamente pelo *host*, mantendo a ligação ao dispositivo. Todos os dados recebidos na ligação *Bluetooth* serão descartados enquanto estiver a operar no *Command Mode*.

6.4 . Características do módulo *Bluetooth*

Com a interface telemóvel, qualquer utilizador com um dispositivo *Bluetooth* (por exemplo telemóvel ou PDA) pode facilmente controlar as funcionalidades que o *B-Live* disponibiliza.

Até aqui essa interface estava disponível, mas para tal era necessário ter um PC que estabelecia a comunicação com o módulo *B-Live* e com o dispositivo *Bluetooth* (telemóvel).

Assim o desenvolvimento de uma solução independente do PC tornou-se fundamental para que os potenciais utilizadores possam usufruir de uma forma mais simples das funcionalidades do *B-Live*.

O *Bluetooth* é uma especificação industrial para comunicação em áreas de redes pessoais sem fios (PANs). É um protocolo de comunicação inicialmente projectado para baixo consumo de energia com baixo alcance (Tabela 6.2).

Esta tecnologia possibilita a comunicação desses dispositivos uns com os outros quando estão dentro do raio de alcance. Os dispositivos usam um sistema de comunicação via rádio, por isso não necessitam de estar na linha de vista um do outro, e podem até estar em ambientes diferentes, caso a potência do sinal de transmissão seja suficiente para uma correcta recepção.

O *Bluetooth* disponibiliza uma forma de conectar e trocar informações entre dispositivos, tais como telemóveis, computadores, impressoras, câmaras digitais e consolas de videojogos digitais através de uma frequência de rádio de curto alcance e segura.

As especificações do *Bluetooth* foram desenvolvidas e licenciadas pelo *Bluetooth Special Interest Group* [42].

As principais características são:

- robustez,
- complexidade reduzida,
- baixo consumo energético,
- e baixo custo.

Classe	Potência máxima permitida (mW/dBm)	Alcance (Aproximadamente) (m)
Classe 1	100/20	~ 100
Classe 2	2,5/4	~ 10
Classe 3	1/0	~ 1

Tabela 6.2: Alcance do *Bluetooth* em função da potência

Note-se que, na maioria dos casos, o alcance efectivo dos dispositivos de classe 2 é superior

quando se conectam a dispositivos de classe 1, quando comparados com redes puras de classe 2. Isso pode ser obtido pela alta sensibilidade e potência de transmissão do dispositivo de classe 1. A elevada potência de transmissão do dispositivo de classe 1 permite a recepção da elevada potência por parte do dispositivo de classe 2.

Além disso, a alta sensibilidade do dispositivo de classe 1 permite a recepção da transmissão de baixa potência dos dispositivos de classe 2, permitindo assim a operação de dispositivos de classe 2 a grandes distâncias.

Versão	Taxa de transmissão (Mbit/s)
Versão 1.2	1
Versão 2.0	3
Versão 3.0 (Em desenvolvimento)	53 - 480 (Proposto)

Tabela 6.3: Versões e taxas de transmissão

Na Tabela 6.3 são apresentadas as versões *Bluetooth* e a respectiva taxa de transmissão [43].

Para usar a tecnologia *Bluetooth*, o dispositivo deve ser compatível com certos perfis *Bluetooth*: protocolos através dos quais os dispositivos *Bluetooth* comunicam com outros dispositivos. Esses perfis determinam as possíveis aplicações e usos da tecnologia.

Os perfis existentes nesta tecnologia são [44]:

- *Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)*,
- *Audio / Video Control Transport Protocol (AVRCP)*,
- *Basic Imaging Profile (BIP)*,
- *Basic Printing Profile (BPP)*,
- *Common ISDN Access Profile (CIP)*,
- *Cordless Telephony Profile (CTP)*,
- *Dial-Up Network Profile (DUN)*,
- *Fax Profile (FAX)*,
- *File Transfer Profile (FTP)*,
- *General Audio/Video Distribution Profile (GAVDP)*,
- *Generic Object Profile (GOEP)*,
- *Hands-Free Profile (HFP)*,
- *Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP)*,
- *Headset Profile (HSP)*,
- *Human Interface Device Profile (HID)*,
- *Intercom Profile (ICP)*,
- *Object Push Profile (OPP)*,
- *Personal Area Networking Profile (PAN)*,
- *Service Discovery Application Profile (SDAP)*,
- *Serial Port Profile (SPP)*,
- *Synchronization Profile (SYNC)*,
- *Video Distribution Profile (VDP)*.

No mínimo, cada especificação de perfil contém informação relativa aos seguintes tópicos:

- Dependência de outros perfis,
- Formato das interfaces de utilizador,
- Especifica partes da pilha protocolar utilizada pelo perfil. Para isso, cada perfil usa opções e parâmetros particulares em cada camada da pilha protocolar.

Para este trabalho o perfil mais relevante é o SPP, pois este perfil define como configurar

portas série virtuais e conectar dois dispositivos *Bluetooth*.

6.5 . Soluções para controlo dos motores DC

O módulo dispensador de comida tem 5 motores DC. Quatro destes motores são para dispensar os produtos e outro é utilizado para a abertura e fecho da porta do dispensador.

Nesta secção serão analisadas as soluções para controlo dos 4 motores das espirais e para o motor da porta.

Motores das espirais

As espirais que irão conter os alimentos são ligadas a motores DC, e à placa de controlo (Figura 6.15) juntamente com a placa de MOSFETs (Figura 6.16). Esta permite o controlo dos motores, os quais apenas necessitam de rodar num sentido (neste caso sentido horário).

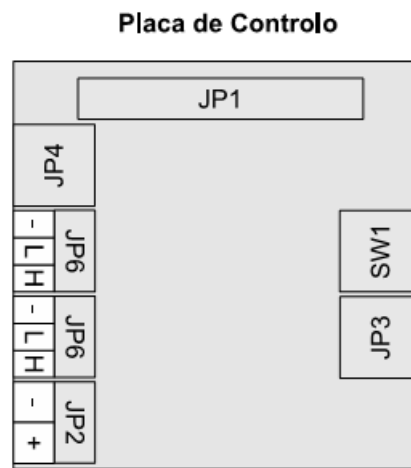


Figura 6.15: Placa de Controlo[28]

A Placa de Controlo é a placa mais importante dos módulos *B-Live*. Esta placa é responsável pelas comunicações entre os módulos, por todo o processamento necessário para ler interruptores e actuar nos dispositivos.

Tal como ilustrado na Figura 6.15, esta placa disponibiliza as seguintes ligações:

- **JP1** - Ligação à Placa de Potência ou Especialidade (no caso do dispensador. Placa de MOSFETs),
- **JP2** - Alimentação (12 VDC),
- **JP3** - Linha série,
- **JP4** - Ligação para programador,
- **JP5** - CAN,
- **JP6** - CAN,
- **SW1** - Botão de *reset*.

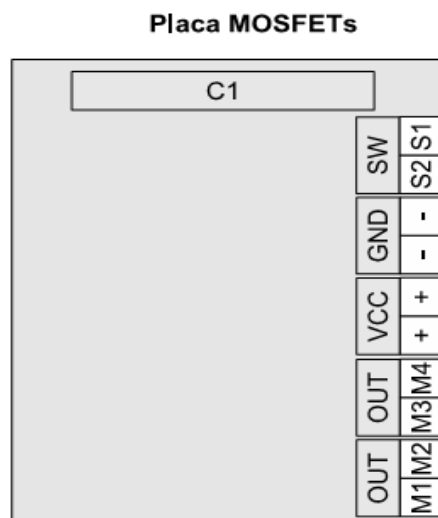


Figura 6.16: Placa de MOSFETs [28]

Esta placa é utilizada em dispositivos de baixo consumo, e permite controlar os motores do dispensador de comida.

As ligações disponíveis estão ilustradas na Figura 6.16:

- C1 - Ligação à placa de controlo,
- S1 - Ligação a um interruptor,
- S2 - Ligação a um interruptor,
- M1 - Saída 1 (0 ou 12 VDC),
- M3 - Saída 3 (0 ou 12 VDC),
- M4 - Saída 4 (0 ou 12 VDC),
- VCC - Alimentação (12 VDC),
- GND - Massa.

Motor de abertura/fecho da porta

O motor que opera na porta do dispensador de comida tem de rodar nos dois sentidos, sendo que num dos sentidos abre a porta e no outro fecha-a (o mecanismo de abertura da porta será apresentado ainda neste capítulo). Para tal é necessário encontrar uma solução que permita controlar a direcção do motor.

De seguida são apresentadas algumas soluções comerciais, que se baseiam no princípio de funcionamento da ponte-H permitindo mover o motor em ambas as direcções.

6.5.1 Dual H-Bridge Motor Drive (LYNXMOTION)



Figura 6.17: Dual H-Bridge Motor Driver (LYNXMOTION)

Descrição:

Controlo de pequenos motores DC a partir de um microcontrolador. A *Dual H-Bridge (DHB)* é uma placa de controlo que permite controlar dois motores DC.

Controlo da velocidade e direcção dos motores por *software* usando para tal a tabela de verdade como um manual de operação.

Especificações [45]:

- 4.8V – 12VDC,
- 4A pico,
- 2A contínuo,
- *Dual Channel*, entrada TTL,
- *Driver type*: L298 IC,
- DHB tensão Motor: 6-12VDC,
- DHB corrente Motor: 1A max,
- Quatro linhas de nível TTL (saídas),
- Requisitos de corrente (5V): 36mA,
- Tamanho da PCB: 2.3"x3.0".

Preço: \$24.95

Part Number: 385801

Contacto: international@jameco.com

6.5.2 Dual H-Bridge Module(ROGUE ROBOTICS)



Figura 6.18: Dual H-Bridge Module (ROGUE ROBOTICS)

Descrição:

Destina-se a motores DC e consiste numa unidade de dupla ponte H baseada nos *chips* SN754410 da *Texas Instruments*. Fornece até 1,1 A em cada lado e 2A pico.

Especificações [46]:

- Gama de alimentação: 4.5V to 36V (5V necessário para a lógica),
- Duas conexões para motor,
- Gama de operação do SN754410: -40°C to 85°C (-40°F to 190°F).

Preço: \$24.95

Part Number: 386337

Contacto: international@jameco.com

6.5.3 L298 Motor Driver Dual H-Bridge Electronic Kit



Figura 6.19: L298 Motor Driver Dual H-Bridge Electronic Kit

Descrição:

O L298 é uma Dupla Ponte H bastante popular, utilizável dos 6 aos 50V, e corrente de saída até 4A. Este Kit inclui o L298, um PCB e todos os outros componentes necessários para a construção de uma Dupla Ponte H de fácil utilização.

Especificações [47]:

- Quatro Leds indicadores da direcção do motor,
- Díodos de protecção – díodos de *Schottky*,
- Terminias para conexão de motores,

Preço: \$17.95

Part Number: H01918Z-01

Contacto: customerservice@hobbyengineering.com

6.5.4 Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E01



Figura 6.20: Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E01

Descrição:

A suas pequenas dimensões 1,54" x 0,78" são muito úteis em áreas muito restritas, e a sua capacidade de se transformar ela própria numa única ponte H oferece máxima flexibilidade. Trata-se de uma solução de baixo custo para controlar motores DC, solenoides, relés, entre outros. A

gama de alimentação é de 4.5V a 36V (é recomendável não ultrapassar os 24V). A corrente DC de saída é 2A (1A por canal) e são disponibilizadas três entradas lógicas por cada canal.

Especificações [48]:

- Dimensões: 1.54" x 0.78",
- Tensão de alimentação recomendada: 5V to 24V,
- Corrente DC de saída: 1A por canal, ou 2A quando usada uma configuração paralela,
- Protecção de temperatura,

Preço: \$CAD 26.99

Part Number: RB-01

Contact0: sales@robotshop.ca

6.5.5 Robot 1A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E02



Figura 6.21: Robot 2A 24V Mini Dual H-Bridge Motor Driver RS-E02

Descrição:

RobotShop disponibiliza uma solução de baixo custo para controlar motores DC, solenoides, relés, entre outros. A gama de alimentação é de 5V a 46V, no entanto é recomendado não ultrapassar os 24V. A corrente total DC de saída é 4A (2A por canal). Três entradas lógicas A,B e E são disponibilizadas por canal.

Especificações [45]:

- Dimensões: 2.3" x 1.54",
- Tensão de alimentação recomendada: 5V to 24V,
- Corrente DC de saída: 2A por canal,
- Protecção de temperatura,

Preço: \$CAD 32.99

Part Number: RB-02

Contacto: sales@robotshop.ca

6.5.6 Análise das soluções apresentadas

Das soluções analisadas, a escolha recaiu sobre o *L298 Motor Driver Dual H-Bridge Electronic Kit*. Esta solução, para além de apresentar um custo de aquisição inferior às restantes, apresenta também características que se adaptam perfeitamente às necessidades do nosso sistema.

6.6 . Mecanismo de abertura/fecho do dispensador de comida

O sistema de abertura da gaveta do dispensador de comida consiste num parafuso sem fim que está ligado à gaveta através de uma plataforma metálica. Esta estrutura metálica contém dois pontos de conexão que permitem aparafusar a estrutura metálica à gaveta. À estrutura metálica é soldada uma porca de dimensões apropriadas para a situação, na qual enrosca o parafuso sem fim. A figura 6.22 ilustra a forma deste sistema.

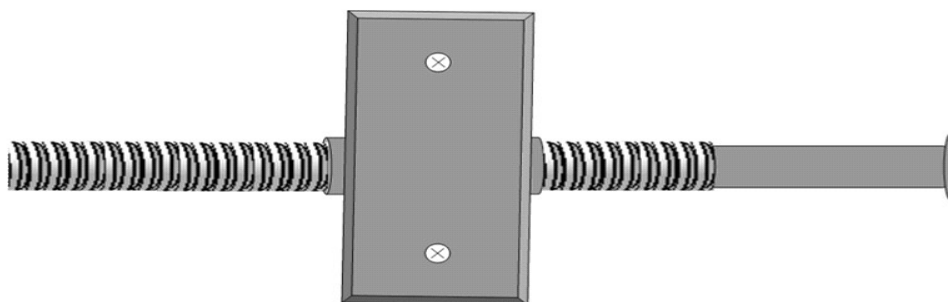


Figura 6.22: Sistema parafuso sem-fim

Na extremidade do parafuso sem-fim oposta ao motor, há uma parte lisa, isto é, que não tem rosca e é um pouco mais fina do que o restante parafuso, tendo esta parte de ser um pouco maior, em comprimento, do que o parafuso. Com esta parte lisa e mais fina, garante-se, no caso de qualquer anomalia do sistema, que não se esforça a gaveta mesmo que o veio do motor continue a rodar. No final do sem-fim há também uma anilha que garante que o parafuso sem fim nunca desencaixa da porca.

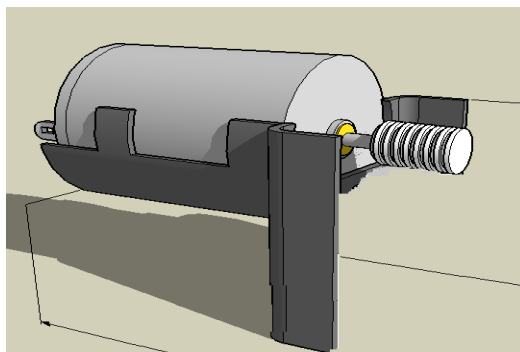


Figura 6.23: Motor DC com parafuso sem-fim

Este sistema é posteriormente ligado ao veio de um motor DC e mediante o sentido em que o veio do motor rodar a gaveta vai abrir ou fechar. A Figura 6.23 ilustra essa ligação do motor DC ao parafuso sem fim.

Quando o veio do motor DC rodar no sentido anti-horário a gaveta/porta abre, e quando este muda de direcção, isto é., quando rodar no sentido horário a gaveta/porta fecha.

6.7 . Descrição do *firmware* do dispensador de comida

A aplicação principal do sistema *B-Live* (app) é responsável por todo o mecanismo de interligação entre os dispositivos que integram o sistema *B-Live* e o utilizador. É aqui que são tratadas as mensagens de todo o sistema, isto é, ao analisarmos a estrutura das mensagens que chegam do exterior, através dos diversos interfaces, é identificado o módulo destinatário da

mensagem e posteriormente, mediante o tipo de mensagem, são desencadeadas diferentes acções.

No *firmware* implementado anteriormente todo o processo de análise e processamento das mensagens era feito na *app.c* e, tendo em conta que o sistema *B-Live* é composto por diversos módulos podendo ainda vir a crescer, esta solução conduz a um número considerável de linhas de código.

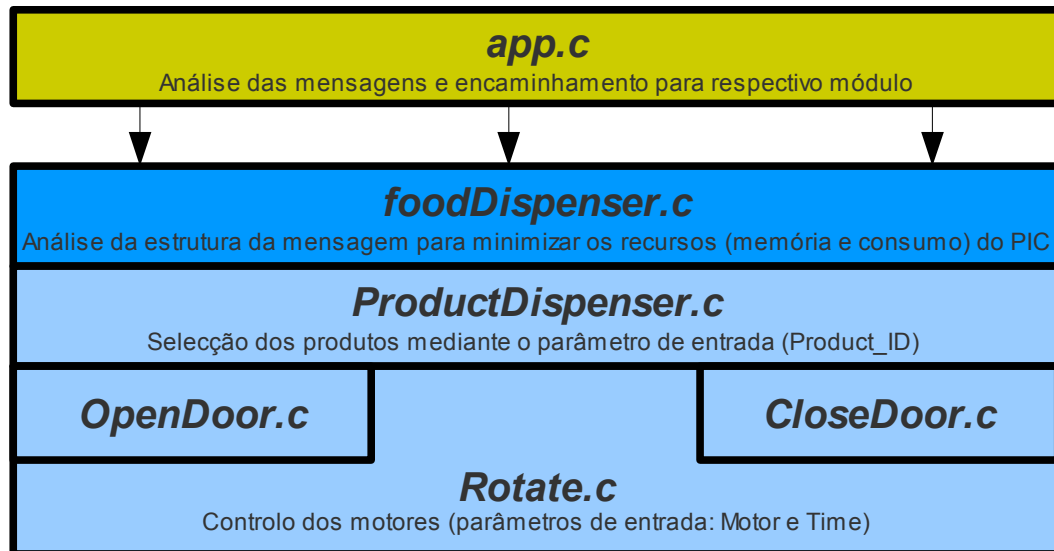


Figura 6.24: Arquitectura da firmware do dispensador

Para o módulo dispensador de comida seguimos outra metodologia que consiste em descentralizar a solução da *app.c*. Neste sentido optou-se por fazer a identificação do módulo na *app.c*, através da análise do campo de dados D1 das mensagens, e o restante desenvolvimento é feito numa outra função designada *FoodDispenser.c* onde é analisada toda a informação proveniente das mensagens trocadas pelo sistema *B-Live* respeitantes ao Dispensador de Comida.

6.7.1 Função *FoodDispenser*

É aqui que toda a informação destinada ao Dispensador de Comida é tratada. Assim sempre que uma mensagem chega à *app* e o campo D1 contiver o ID do Dispensador, é invocada a função *FoodDispenser*.

Nesta começa-se por obter toda a informação da estrutura da mensagem de modo a que o PIC apenas tenha de analisar a estrutura da mensagem uma única vez, quando entra nesta função.

O trecho de código apresentado a seguir ilustra essa acção.

```
_IDMsg = appMsgIn.IDMsg;
_IDSrc = appMsgIn.IDSrc;
_len = appMsgIn.len;
for(i=0;i<_len;i++){
    _data[i] = appMsgIn.data[i]; }
```

O campo D0 indica o tipo de mensagem, e mediante o valor deste campo são efectuadas diferentes acções. Por agora apenas vamos considerar as mensagens de ON/OPEN.

Quando chega uma mensagem deste tipo e o campo de dados D1 contém o ID do dispensador é invocada a subrotina *ProductDispenser* que tem como parâmetro de entrada o ID que é indicado no campo de dados D2.

Nesta função são testadas várias condições, isto é, mediante o ID passado à subrotina *ProductDispenser* é invocada uma outra subrotina *Rotate* que é responsável pelo controlo dos

motores do dispensador, e uma outra *OpenDoor* responsável pela abertura da porta. Note-se que esta última invoca também a subrotina *Rotate*. No caso de o ID ser o do motor para fechar a porta é invocada a subrotina *CloseDoor* que por sua vez invoca a subrotina *Rotate*.

Esta subrotina *Rotate* tem como parâmetros de entrada o ID do motor correspondente ao produto desejado e o tempo durante o qual esse motor deve rodar, calculado através da contagem do *timer*.

Esta subrotina é essencial no funcionamento do dispensador de comida pois é através dela que é feita a interacção com os motores. É de referir que o fecho da porta é efectuado através de um novo comando enviado pelo utilizador. Este sistema é destinado a pessoas com graves limitações funcionais, e uma situação em que a porta se fecharia por contagem de um *timer* conduzia a uma situação bastante crítica e em nada desejável, na medida em que podia, um utilizador sem as capacidades de uma pessoa “dita normal”, sofrer danos tais como ficar “entalado” ou situações idênticas.

6.8. Conclusão

As soluções encontradas para o módulo *Bluetooth* e para o controlo dos motores DC revelaram-se ajustadas aos objectivos. As soluções analisadas acima cumpriam os requisitos que permitiam a sua integração no sistema, no entanto, o baixo custo do módulo KC-121 e da *L298 Motor Driver Dual H-Bridge*, comparativamente às restantes soluções permite manter o nível de custo do *B-Live*.

Pelo estudo efectuado, os módulos analisados, podem também ser utilizados de futuro nesta aplicação.

De acordo com a estimativa efectuada na secção 6.2.6, o desenvolvimento de uma solução para o módulo *Bluetooth* própria é perfeitamente viável, tendo em conta o custo das restantes soluções apresentadas.

Capítulo 7

Conclusões e trabalhos futuros

Do estudo realizado no âmbito deste projecto, é possível concluir que a integração de diversas tecnologias de comunicação permite que sistemas como o *B-Live* apresentem um elevado nível de fiabilidade, desempenho, segurança, modularidade e mobilidade.

Os testes efectuados com os sensores de ultra-sons SRF05 permitiram elaborar um modelo funcional no apoio à navegação em cadeiras de rodas eléctricas.

Existem já alguns sistemas de apoio à navegação em cadeiras de rodas, demonstrando assim que, a preocupação que a comunidade científica e a sociedade têm para com as pessoas mais idosas ou com limitações funcionais, tem vindo a aumentar.

As tecnologias de comunicação para redes pessoais desempenham no campo da domótica um importante papel. Do estudo realizado às diversas tecnologias sem fios, foi possível concluir que a tecnologia *ZigBee* seria a mais adequada ao desenvolvimento e implementação de um sistema de domótica sem fios.

Este tipo de protocolo permite o desenvolvimento de aplicações de custo reduzido e de desempenho semelhante às soluções cabladas.

O sistema de domótica para pessoas com graves limitações funcionais, *B-Live* é um sistema distribuído, interligado por cabo, com múltiplas interfaces e funcionalidades. Este sistema permite que um paciente com graves limitações motoras controle algumas funcionalidades na sua habitação.

Sendo um sistema constituído por componentes electrónicos de baixo custo, o preço final é reduzido e bastante acessível.

Tal como referido, o *B-Live* é um sistema modular. Um dos objectivos deste projecto era o desenvolvimento de novos módulos para o sistema. O dispensador de comida apresenta-se como um módulo bastante útil e de fácil operação. A operação sobre o dispensador de comida é, actualmente, feita pela interface telemóvel, que pelos testes efectuados se demonstrou ser uma interface *userfriendly*.

O *B-Live* já anteriormente suportava a interface telemóvel. No entanto, foi necessário desenvolver uma solução que permitisse a independência do computador. Nesse sentido foi adquirida uma solução comercial da *Kc Wirefree*, que permite actuar sobre o *B-Live*, sem a necessidade de ter um PC a fazer o *gateway*.

Pelos testes efectuados, este módulo *Bluetooth* apresentou-se como uma boa solução pela sua facilidade de configuração e pelo custo reduzido, seguindo assim a linha mestra do sistema domótico *B-Live*, eficiência, simplicidade e baixo custo.

Como trabalho futuro, a simulação e implementação do modelo de detecção de obstáculos numa cadeira de rodas e a realização de testes em ambiente real permitirão melhorar o desempenho dos sensores.

No futuro, pretende-se que o sistema *B-Live* seja dotado de uma solução sem fios baseada na tecnologia *ZigBee*. Pretende-se também que sejam desenvolvidas novas funcionalidades, como um sistema de detecção de incêndios, um sistema de detecção de queimaduras visto que muitos tetraplégicos não têm qualquer sensibilidade em determinadas partes do corpo.

Com estas funcionalidades e com o desenvolvimento de um *gateway GSM-ZigBee*, dotamos o *B-Live* com um sistema que poderá enviar uma mensagem SMS para um número de telemóvel pré-definido indicando, por exemplo, que um incêndio está a deflagrar em determinado local da habitação.

O desenvolvimento de novas interfaces para o sistema *B-Live* apresenta-se também como um caminho muito importante a explorar, pois existem muitas pessoas com graves deficiências ou limitações que não conseguiram utilizar qualquer das interfaces até agora disponibilizadas.

A arquitectura externa do dispensador de comida deverá ser melhorada de modo a obter um melhor desempenho por parte do motor que abre/fecha a porta. Actualmente esta estrutura, quando a porta abre ou fecha, apresenta um nível de ruído considerável e que pode ser reduzido.

Bibliografia

- [1]. "Sensores to Improve the Safety for Wheelchair users", Schilling k. , Roth H., Lieb R. Stützle H., FH Ravensburg - Weingarten, Postfach 1261, D - 88241 Weingarten
- [2] "The NavChair Assistive Wheelchair Navigation System", Simon P. Levine, David A. Bell, Lincoln A. Jaros, Richard C. Simpson, Yoram Koren, Senior Member, IEEE, e Johann Borenstein, Member, IEEE
- [3] "Fundamentals of ultrasonic sensing", Pepperl+Fuchs Group
- [4] Finemech – Precisions Mechanical Components;
www.finemech.com/tech_resources/ultrasound_application.shtml, citado em Novembro 2007
- [5]<http://paginas.fe.up.pt/~eol/SP-leec/TRABALHOS/ROB/sensores.html#sensdist>, citado em Novembro 2007
- [6] Douglas Brandão Baroni, "Desenvolvimento de técnica ultra-sónica para medida de porosidade em pastilhas de UO_2 ", 2008
- [7] "SRF05 – Ultra-Sonic Ranger Technical Specification", Devantech
- [8] Pedro Simão, Tiago Roque, José A. Fonseca; "Desenvolvimento e ensaio de sistema de detecção de obstáculos de baixo consumo com interface sem fios"; Universidade de Aveiro
- [9] Specification for the Bluetooth System 1.1. Technical Report Specification Volume 1, Bluetooth Special Interest Group (SIG), 2001.
- [10] IEEE Std 802.15.1 - IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). Technical report, IEEE Computer Society, 2002.
- [11] <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/Bluetooth.html>, citado em Junho de 2008
- [12] J. Kardach. Bluetooth Architecture Overview. Intel Technology Journal, 2000.
- [13] Pedro Simão, "Controlo de assiduidade com multiposto e comunicações wireless", Universidade de Aveiro, Dissertação de Mestrado Integrado, 2008
- [14] Paulo Bartolomeu, "Evaluating Bluetooth® for the wireless transmission of MIDI", Universidade de Aveiro, Dissertação de Mestrado, 2005
- [15] "Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", Technical Report ISO/IEC 8802-11:1999(E), International Standard ISO/IEC, 1999
- [16] M. Gast. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. O'Reilly, second edition, 2005.
- [17] Ultra Lab, University of Southern California, 2006, <http://ultra.usc.edu/>, citado em Junho de 2008
- [18] M. P. Wylie-Green, P. A. Ranta, and J. Salokannel. "Multi-band OFDM UWB Solution for IEEE 802.15.3a WPANs. In Advances in Wired and Wireless Communication", IEEE/Sarnoff Symposium on, 2005.
- [19] <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/UWB.html>, citado em Junho de 2008

- [20] Aliança ZigBee, www.zigbee.org, citado em Junho de 2008
- [21] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4 (TG4), 2006. www.ieee802.org/15/pub/TG4.html, citado em Junho de 2008
- [22] "ZigBee Specification", Document 053474r13, ZigBee Alliance, citado em Junho 2008
- [23] IEEE 802.15.4 - 2003 Specification, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), October 2003
- [24] Forbes, H., "ZigBee in a Nutshell: Suited for Industrial Applications?", ARC Advisory Group, August 2005
- [25] Vasco Santos, Paulo Bartolomeu, Jos'e Fonseca, and Alexandre Mota. B-Live - A Home Automation System for Disabled and Elderly People. In IEEE Second International Symposium on Industrial Embedded Systems - SIES'2007, 2007.
- [26] http://www.microio.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid, citado em Setembro de 2008.
- [27] http://www.microio.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid, citado em Setembro de 2008
- [28] Vasco Santos, "Comunicações em Aplicações de Domótica para Apoio a Pessoas com Limitação Funcional", Universidade de Aveiro, Dissertação de Mestrado, 2007
- [29] DataSoft Systems AB. <http://www.datasoft.se/f2mmoduleevaluationkit.htm>. Citado em Fevereiro de 2008
- [30] ELEKTRONIMPORTKOMPLEKT - Shipments of electronic componentes http://eicom.ru/catalogue/Integrated_Circuits_and_Modules_and_Units_for_RF_and_RFID/RF_Accessories/. citado em Fevereiro de 2008
- [31] Lemos International, http://www.lemosint.com/scripts/Bluetooth_promiesd.asp. citado em Fevereiro de 2008
- [32] HANTZ. http://www.hantz.com/ASP/NewProducts/Produkte_3.asp?ProduktID=949&CID=0#preis. citado em Fevereiro de 2008
- [33] KC Wirefree. <http://www.kcwirefree.com/>. citado em Fevereiro de 2008
- [34] HAC Technology, Reliable Embedded Wireless Solutions. <http://airwaycom.com/store/index.php?productID=116>. citado em Fevereiro de 2008
- [35] Sequoia Technology Ltd. <http://www.sequoia.co.uk/eshop/browsedl.php?item=133>. citado em Fevereiro de 2008
- [36] Farnell. http://pt.farnell.com/1379786/semiconductors/product.us0?sku=MAXIM-MAX3225ECAP&_requestid=281983. citado em Fevereiro de 2008
- [37] Robert Mauser, Comércio de Componentes Electrónicos Lda. http://www.mauser.pt/catalog/index.php?cPath=55_58_298_156. citado em Fevereiro de 2008
- [38] Leiritrónica. <http://www.leiritronica.pt/electronica/index.php?>. citado em Fevereiro de 2008
- [39] KC Wirefree. <http://www.kcwirefree.com/>. citado em Março de 2008
- [40] KC-21 Datasheet, páginas: 1,5,7
- [41] KcSerial_RefGuide
- [42] Bluetooth. <http://www.Bluetooth.com/Bluetooth>. citado em Fevereiro de 2008

- [43] Wikipédia, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>. citado em Fevereiro de 2008
- [44] *Bluetooth*. http://www.Bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/Profiles_Overview.htm. citado em Fevereiro de 2008
- [45] <http://www.lynxmotion.com/Product.aspx?productID=92&CategoryID=10>, citado em Janeiro de 2008
- [46] <http://www.robotstore.com/store/product.asp?pid=984&catid=1563>, citado em Janeiro de 2008
- [47] http://www.solarbotics.com/products/k_cmd/, citado em Fevereiro de 2008
- [48] <http://www.robotstore.com/store/search.asp?catid2=1&keyword=dual+H-Bridge>, citado em Fevereiro de 2008

Anexo A

Comando	Resposta caso sucesso	Resposta caso insucesso
Bond	AT-ZV BondOk	AT-ZV BondFail
Bypass	AT-ZV -BypassMode-	AT-ZV ConnectionDown
ChangeBaud	AT-ZV Baudrate Changed	-----
ChandeDefaultBaud	AT-ZV Baudrate Changed	-----
DefaultLocalName	AT-ZV LocalName	-----
DeleteSmartCable	AT-ZV DeleteSmartCableDone	-----
DisableBond	AT-ZV BondDisable	-----
Discovery	AT-ZV DiscoveryPending	
DunConnect	AT-ZV ConnectionUp AT-ZV -BypassMode-	AT-ZV DUNConnectClosed
DunDisconnect	AT-ZV DUNConnectionClosed	-----
EnableBond	AT-ZV BondEnable	AT-ZV BondDisable
EraseBondTable	AT-ZV BondTableErase	-----
ExitPart	AT-ZV ActiveMode	-----
ExitSniff	AT-ZV ActiveMode	-----
GPIOConfig	AT-ZV GPIOConfigDone	-----
GPIORead	AT-ZV GPIOReadDone	-----
GPIOWrite	AT-ZV GPIOWriteDone	-----
Hold	AT-ZV HoldMode	-----
HostEvent	AT-ZV HostEvent [Enable/Disable]	-----
LocalName	AT-ZV LocalNameOk	-----
Park	AT-ZV ParkMode	-----
RemoteCommand	AT-ZV RemoteCommand [Enable/Disable]	-----
RemoteCmdDisconnect	AT-ZV RemoteCmdModeClosed	-----
Reset	AT-ZV ResetPending	-----
Security	AT-ZV SecurityOk	-----
SmartCableSetup	AT-ZV SmartCableConfigDone	-----
Sniff	AT-ZV SniffMode	-----
SPPConnect	AT-ZV ConnectionUp AT-ZV -BypassMode-	AT-ZV SPPConnectionClosed
SPPDisconnect	AT-ZV SPPConnectionClosed	-----
StreamingSerial	AT-ZV StreamingSerial [Enable/Disable]	-----
UpdateInquiryScan	AT-ZV InquiryScanUpdateDone	-----
UpdatePageScan	AT-ZV PageScanUpdateDone	-----
Version	AT-ZV KcSerial [x.y]	-----

Comandos AT suportados pelos módulos Bluetooth KC-121

Anexo B



Anexo C



Anexo D

